

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



МАТЕРИАЛЫ

V МЕЖДУНАРОДНОГО
МОЛОДЁЖНОГО ФОРУМА

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»

ТОМ 2.

Томск – 2017

УДК 620.9(063)
ББК 31л0
И73

Интеллектуальные энергосистемы: труды V Международного молодёжного форума. В 3т. Томск 9 - 13 октября 2017г. Т.2.-Материалы V Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы», 290 с.

Настоящий сборник содержит материалы V Международного молодёжного форума «Интеллектуальные энергосистемы», проведенного 9 - 13 октября 2017г. на базе Энергетического института Томского политехнического университета.

Материал сборника представлен без редактирования авторских электронных версий.

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ СБОРНИКА ТРУДОВ ФОРУМА

1. Матвеев А.С., к.т.н., заместитель директора по развитию ЭНИН ТПУ, председатель;
2. Козырева А.А., начальник научного отдела ЭНИН ТПУ, ученый секретарь;
3. Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ;
4. Глушков Д.О., к.ф.-м.н., доцент кафедры АТП ЭНИН ТПУ;
5. Заворин А.С., д.т.н., зав. кафедрой ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ;
6. Литвак В.В., д.т.н., профессор кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ;
7. Кладиев С.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ;
8. Дементьев Ю.Н., к.т.н., зав. кафедрой ЭПЭО ЭНИН ТПУ;
9. Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭКМ ЭНИН ТПУ
10. Сурков М.А., к.т.н., зав. кафедрой ЭПП ЭНИН ТПУ;
11. Сулайманов А.О., к.т.н., зав. кафедрой ЭЭС ЭНИН ТПУ;
12. Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН ТПУ;
13. Собинова Л.А., к.пед.н., ст. преподаватель кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
14. Чеснокова И.А., к.ф.н., старший преподаватель кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
15. Кобенко Ю.В., д.ф.н., профессор кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
16. Ростовцева В.М., к.пед.н., доцент каф. ИЯ ЭНИН ТПУ.
17. Ардашкин И.Б., д.филос.н., профессор ФИЛ ИСГТ ТПУ
18. Лукутин А.В., к.т.н., начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ

Вёрстка и дизайн оригинал макета: Зимина Н.А.

© Томский политехнический университет, 2017

СЕКЦИЯ 4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE NUCLEAR POWER PLANTS

L.S. Golovina

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
Group 5031

The main problem of turbines that are installed at RF NPPs is the necessity to keep humidity content at a low level. Therefore there is used the separator-steam re-heaters (SSR). They have one main advantage - their heating surfaces consist of modules, which can be blanked off without stopping the turbine, but the SSR also have a disadvantage. It's lateral wet steam admission. With such a drawback it's difficult to provide uniform distribution of steam among the separation modules. In the Diagram 1 you can see that the nonuniformity could be 500%. [1]

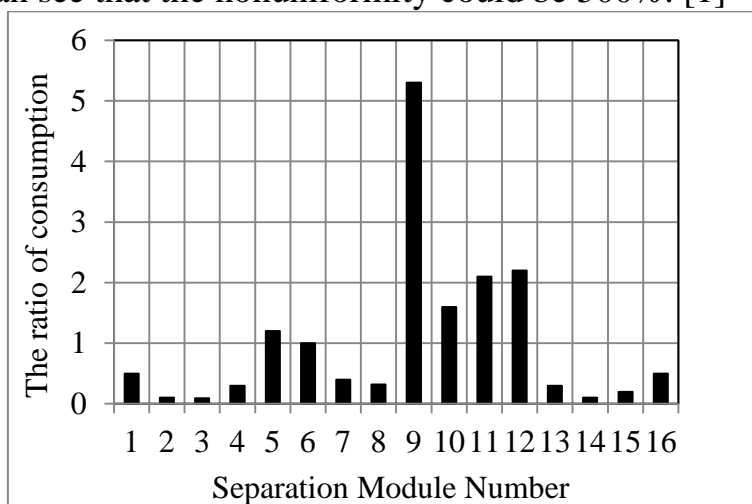


Diagram 1. Relative distribution of moisture content among the separation modules

Specialists have developed a modernization program. The main idea of the project was to replace the Russian louver plates by Powervane louver banks (Fig.1) produced by German company. [2]

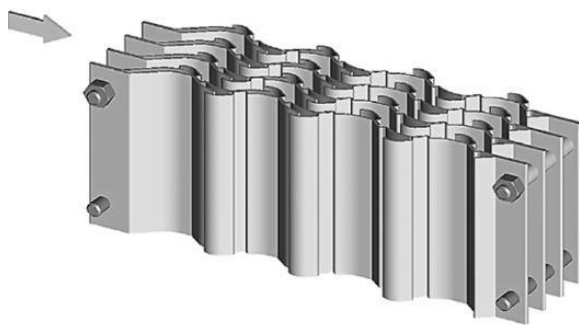


Fig.1. Powervane louvers produced by Balke-Durr

This project was realized in a four power units of Leningrad NPP. During the tests, there was determined a moisture content behind the modules. The results are shown in a Chart 1. Nonuniformity was reduced. Medium level of the relative humidity is equal to 0,6 and this value was close to the design level. [3]

Chart 1. Results the modernization

	The moisture content					
Location	Wall	E	D	B	C	Bottom C
Value (SSR-74)	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7
Value (SSR-71)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Medium value	0.6					
Design level	0.5					

That's why we decided to understand how this modernization affects the turbine efficiency. After the above mentioned modernization the moisture content in steam is reduced. Before modernization the dryness factor X was equal to 0,985 but after this factor it equals to 0,994. If we look at the h - s diagram (Fig.2) then we see that enthalpy h_k is increased.

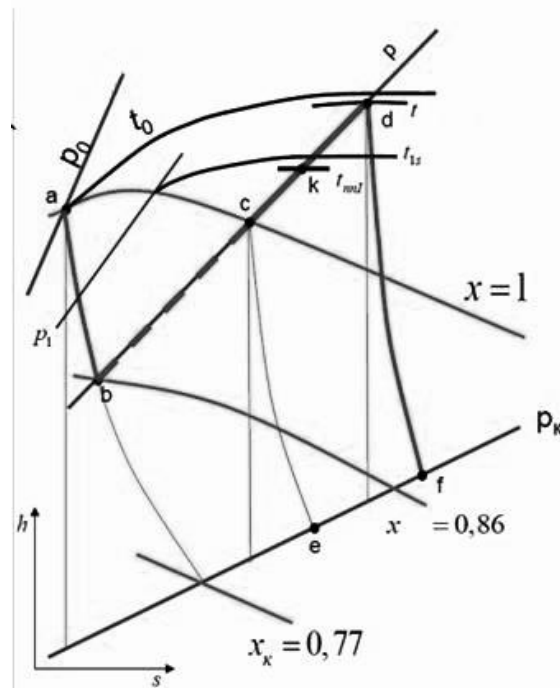


Fig.2. h - s diagram

Therefore the thermal and internal efficiency has also been increased. Efficiency of generator and mechanical efficiency are constant and their multiplication is

equal to 0,985. However if we calculate the electrical efficiency via the formula (1), we will have two values: 0,363 and 0,370.

$$\eta_e = \eta_{oi} \cdot \eta_t \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (1)$$

Next, it is necessary to calculate how many years should pass for the modernization to be completely paid off. Electrical power can be determined via formula (2).

$$N_e = N_o \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (2)$$

The turbines K-500 are installed in the Leningrad NPP. Their rated power is equal to 500 MW. Electrical power before modernization was equal to 410 MW and after it is equal to 413 MW. 3 MW will bring an annual profit. Production and delivery of modules costs 100 million rubles. Consequently, if there is used only this power then the modernization will be repaid in 7 years.

In conclusion, it is necessary to add that the separator-steam reheaters modernization has increased the turbine efficiency and the NPP as a whole.

REFERENCES:

1. A. B. Sudakov, B.S. Fokin, Steam Generators and Heat-Transfer Equipment of Nuclear Power Plants. - St. Petersburg: NPO TsKTI, 2005.- 252 p.
2. P. O. Gredasov. Upgrading the SPP-500-1 moisture separators-steam reheaters used in Leningrad NPP turbine units // Key Points of the 12th International Youth Scientific Conference "Aurora 2009". - 2009, pp. 30-34.
3. M. A. Gotovskii, B. S. Fokin, M. E. Lebedev. Results from tests of modernized moisture separator-reheater of K-500-65/3000 turbine plants of the power unit No. 4 at Leningrad NPP // Therm. Eng.- 2012.- No. 59.- p. 113.

Scientific advisor: S.V. Lavrinenko, assistant, Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants.

THE ADDITIVE TECHNOLOGIES: INNOVATIONS IN NUCLEAR ENERGY

M.A. Vergaskina

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
5031 group

The additive industry development has began with the 3D-printers. Now plants are plan to produce metal details via additive technology.

In RF this technology is at a low level. The main problem, that has appeared after the Russian ruble fall, is the foreign additive technologies high cost. For example, the titanium powders price for the Russian consumer is about 520 euros, but in Europe it is just 230 euros.

Rosatom has offered a program to solve this problem. Now this program is being realized. It consists of the subsections: technology, raw materials, equipment and standardization. There are involved 3 institutions for the development of metal pow-

der production for 3D-printers. Over the past year, Russian scientists have developed several kinds of metal powders and a 3D-printer, for example in the TPU. Another colossal fact: the first Russian satellite, which was made in TPU on a 3D printer, was launched into orbit and it began to transmit signals.

According to the latest news, 22.03.2017 Rosatom presented model of new 3D-printer. This model works with 18.05.2017. Also, in the High-Tech Scientific Research Institute of Inorganic Materials named after Academician A.A. Bochvara (part of the Fuel Company of Rosatom "TVEL") established a working group to develop a pilot technology for 3D printing end parts of fuel assemblies. But, it is necessary to overtake foreign leaders. For example, the Siemens Company developed a component for the Krško NPP (Slovenia) – an impeller. Since 01.2017 it is used in pumps of NPP. Also, General Electric will create the world's largest 3D printer ATLAS by 2018. It is planned that the price of the Russian printer will be 40% lower than foreign printers, and the characteristics will be higher.

Additive technologies advantages:

1. new technologies allow us to reduce the components cost. It is easier to correct fault components in the design process via the additive technologies, but in the production stage of the traditional manufacture this will be more expensive;
2. the reduction of the components weight via the wall thickness decrease while preserving the desired properties;
3. the absence of any faults as for example with casting or molding;
4. create a complex and unique details.
5. The additive technology in the nuclear industry:
6. design of the reactor components;
7. replacement or repair of components during production. For example, steam turbine damaged rotor blades restoration.

In the nuclear industry there is a category of components with internal cavities and tubular structures complex system. For example, a surface heater, which is used to preheat feed water. Its main disadvantage is underheating. The main cause of this underheating is the air presence in a heater. With the 3D-printer help, we can create heater shell with the necessary properties: no air in the heater and increase its heating surface.

Let's come to the heater's scheme. We have calculated the influence of underheating on its efficiency. On the basis of the heat balance equation we have found that the under heating could be expressed via formula (1).

$$\theta_m = \theta \cdot e^{-\frac{kF}{Wc_p}} \quad (1)$$

Underheating, temperature and pressure of the heating steam have been reduced, thus this improvement has increased heaters efficiency. [1]

Also, we plan to increase heating surface, which has a positive impact on the NPP efficiency. However capital charges for production of the new heater will increase on the heaters price - 125 million rubles (2), but operating costs will be decreased. The efficiency change is approximately equal to the electrical power (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{The cost of a new heater} = 5000 \text{ kg} \cdot 5000 \frac{\text{ruble}}{\text{kg}} = 25000000 \text{ ruble} \\ \text{Total} = 25000000 \cdot 5 = 125000000 \text{ rubles} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\eta \uparrow \rightarrow \delta\eta = \Delta N = 0,08; N_{\text{new}} = N + 0,08 \cdot N = 450 + 0,08 \cdot 450 = 486 \text{ MW} \quad (3)$$

The profit is expressed via formula (4).

$$P = (486 - 450) \text{ MW} \cdot 10^3 \cdot 24 \cdot 365 \frac{\text{hour}}{\text{year}} \cdot \frac{0,4 \text{ kW}}{\text{hour}} = 126144000 \frac{\text{ruble}}{\text{year}} \quad (4)$$

Consequently, the new heaters will be repaid within 1 year (5).

$$\tau = \frac{125000000 \frac{\text{ruble}}{\text{year}}}{126144000 \frac{\text{ruble}}{\text{year}}} \cong 1 \text{ year} \quad (5)$$

REFERENCES:

1. Singh, Murari. Blade Design and Analysis for Steam Turbines / M. P. Singh, G. Lucas. — New York: McGraw-Hill, 2011. — 364 p. 7. Leyzerovich, Alexander. Wet-Steam Turbines for Nuclear Power Plants / A. Leyzerovich. — Tulsa: PennWell, 2005. — 456 p.
2. Алексей Дуб: Технологии на вырост (журнал "В мире науки"). URL: http://www.rosatom.ru/journalist/interview/tekhnologii-na-vyrost-zhurnal-v-mire-nauki-/?sphrase_id=352 (дата обращения 17.09.2017)
3. «Росатому» снова пора меняться. URL: <http://www.strana-rosatom.ru/росатому-снова-пора-меняться/> (дата обращения 17.09.17)
4. Атомный эксперт №6. URL: http://atomicexpert.com/sites/default/files/ae-639_web.pdf (дата обращения 17.09.2017)
5. Siemens первой в мире напечатала деталь для АЭС на 3D-принтере. URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/03/13/73547> (дата обращения 17.09.2017)
6. В ТВЭЛ создадут пилотную технологию 3D печати концевых деталей тепловыделяющих сборок. URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/08/24/78754> (дата обращения: 17.09.2017)
7. General Electric создаст самый большой в мире 3D-принтер. URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/06/28/77255> (дата обращения: 17.09.2017)
8. 3D-принтер Росатома печатает металлические изделия. URL: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/05/18/75912> (дата обращения: 17.09.2017)

Scientific advisor: S.V. Lavrinenko, senior lecturer, Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants.

PERCEPTRON NEURAL NETWORK. POTENTIAL WAY OF USE

D.I. Polovnikov

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
Group 5031

Neural network is a mathematical model, its software and technical realization. I have decided to take 2 perceptron types - single and multi. I decided to find out why multi-layer perceptron is used in calculations of nuclear reactions. Let's start with a structure of the single-layer network.

As you can see on the screen the network has only one layer - output, because the input layer does not make any counts. On the input and output layer such network takes and gives binary function. For a certain number of steps the network learns to give correct answers. Typically, the speed of learning decreases with increasing data. Often for speed function of learning it is chosen the $\varepsilon(t) = 1 / at$, $a > 0$ or a similar functions. Power of network is not big, because the neurons have a threshold function with the only answer 0 or 1.

Now let's look at the multilayer perceptron. The network can have many layers. All layers are hidden, except the output layer. Each neuron has a non-linear activation function. Non-linear function is very important, because otherwise the network can be changed to a single layer perceptron. The more layers, the more difficult to learn the system and the more time it takes. At the same time training can be unsuccessful.

I made a table to make it easier to compare the characteristics of networks, you can see it on the screen.

If you want to understand clearly difference between networks there is an example of single-layer perceptron work. It is recognition of alphabet letters and geometrical figures. That is all, the highest level of such network.

Example of potential use of a multilayered perceptron is measuring channels on the NPP

As you know all parameters from reactor, turbine and all systems go to operator room by measuring channels. But channels have their own time of life. With the help of a neuronet staff can understand when the channel begins to give a deviation of parameter. Parameters from a neuronet arrive in operator room parallel with parameters from channels. There is an available deviation for each parameter. If parameter by channel has a deviation from neural network and this deviation is bigger then available it means that channel crashes and we have to repair it.

REFERENCES:

1. [http://www.library.mephi.ru/data/scientific-sessions/1999/Neuro_3/\(28.05.16\)](http://www.library.mephi.ru/data/scientific-sessions/1999/Neuro_3/(28.05.16))
2. [http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/multi-perceptron.html\(28.05.16\)](http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/multi-perceptron.html(28.05.16))

3. <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/classification.html>(28.05.16)
4. http://cgm.computergraphics.ru/content/view/57#classic_rozenblat(28.05.16)
5. <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2015/documents/mntk2015-039.pdf>(28.05.16)
6. <http://www.spazint.ru/energetika/atomnaya-energiya/nejronnye-seti.html>(28.05.16)

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель каф. АТЭС ЭНИИ ТПУ.

RANDOM PERTURBATIONS IN THE PROPERTIES OF THE REACTOR ENVIRONMENT NOISE GENERATOR MATHEMATICAL MODEL

M.I. Devyatkin

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
Gr. №5031

Everyone knows that all reactor characteristics have uneven distribution over the reactor core. At the present time, very few calculations are carried out to take into account this unevenness, however, it is impossible to obtain absolute results, because this “Unevenness” is impermanent in time due to multiple factors. Empirical formulas obtained empirically are often used for simplification. As well as the created mathematical models which qualitatively describe the unevenness. Here we will demonstrate this by the example of noise generator

There was reviewed a one-dimensional reactor model, which greatly simplifies the modeling of statistical experiment. We consider a one-dimensional reactor as a flat plate.

In our research we have applied mathematical model named "high-altitude model", in relation to the RBMK reactor.

For the simulation of random variables we have used noise generator method, which is described mathematically as follows:

$$a_2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0 x(t) = b_1 \frac{d\xi(t)}{dt} + b_0 \xi(t) \quad (1)$$

All these factors are taken from the RBMK archives.

The following results were obtained on the basis of a mathematical model of the particles flow and the noise generator: The increase of the reactor's size and the noise level leads to the expected value deviates from fundamental solution and the variance is characterized by the appearance of the peaks and moving them to the edges of the reactor.

Further, according to the archives there was built graphics 4 sections RBMK. In general, all the sensors show the same trend: the lower Expected value and the

large variance in extreme sections. This corresponds to the obtained data mentioned above.

There was made an attempt to determine the cause - why the variance of flow neutrons is so different. In this regard, the studies were conducted according to the dispersion of the sensor from location in the core. Also, analysis of the behavior of the sensor's signal over time was carried out, when we look at it the axial offset (Figure 8), we see that the system is clearly present vibrations, in this case, when the flow sections 1 and 2 is increased, the flows of sections 3 and 4 are reduced and vice versa, i.e. We clearly observe distortions field height.

To summarize, for the Expected value the low values are in the extreme sections, but for dispersion the small value is in the center and two characteristic peaks are closer to the edge of the reactor. In conclusion we should admit that for the simulation of random variables it is suitable to apply noise generator function that has been proven above.

REFERENCES:

1. Dementiev B.A. Kinetics and regulation of nuclear reactors. Moscow: EA, 1986. 272 p.
2. Fundamentals of the theory and methods for calculating nuclear power reactors: Proc. Manual for universities / Bartholomew G.G., Bat G.A., Baibakov V.D., Alhutov M.S. -3rd ed., -Eksb: Publishing house YULAND, 2016.-512 p.
3. Feinberg S.M., Shikhov S.B., Troyansky V.V. The theory of nuclear reactors. Vol.1. - Moscow: Atomizdat, 2008.
4. Subbotin V.I., Nomofilov S.V., Yuriev Yu.S. Solving the problems of reactor thermophysics on a computer. M.: Atomizdat, 2009.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель, каф. АТЭС ЭНИИ ТПУ.

TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR THE POWER-GENERATING EQUIPMENT ECO-FRIENDLY SHUTDOWN

K.I. Konovalenkov

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
Group 5032

National power economy modernization requires an effective system for the power-generating equipment eco-friendly shutdown. The problem of the power unit's eco-friendly shutdown is very complicated. In this research there were selected two basis technologies and considered a possibility of their combined appliance.

Now let us proceed with the first technology. It is Nitrogen cryogenic system for hydrogen displacement from the cooling circuit of the turbine generator. Main subsystems of the nitrogen cryogenic system are the following:

1. liquefaction subsystem for the nitrogen generating and liquefaction
2. liquid nitrogen dividing subsystem for vapor recondensation
3. liquid nitrogen storage and gasification subsystem
4. liquid nitrogen continuous gasification subsystem with atmospheric evaporators

The principle structural scheme of such nitrogen cryogenic system with the Nitrogen-oxygen air-fractionating system:

1. average pressure compressor block with filter and aftercooler
2. air reversible heat exchanger
3. nitrogen turbo-expander
4. nitrogen heat exchanger
5. low pressure compressor block with aftercooler
6. gas receiver
7. block of the double rectification with acetylene filter–adsorber
8. retention basin for liquid
9. cold gasifier

It can provide the regional consumers with air-fractionating liquid products. That will allow accumulating required arrangements for power unit shutdown.

Second system is cryo gas system of the severing of the steam turbine equipment of decommissioned power units. The most optimum universal technology allowing severing of the structural materials on the open area is the flux-oxygen cutting and its modification - powder lancing. The maximum width of steels and alloys for fluxoxygen cutting is 400 mm and that for powder lancing is up to 1500 mm.

Flexibility of these types of the structural materials of the fluxoxygen cutting is provided due to the introduction of the flux into the cutting oxygen in the form of the fine granulated mixture of the iron and aluminum powder, after burning out the temperature in the cutting zone, increases up to 3500°C. The cutting of the highchromium, nickel chrome, heat proof and stainless steel, gray iron, nonferrous metals and alloys is carried out at such temperature mode.

The principle structural scheme of cryo gas system of the severing:

1. cold liquid oxygen gasifiers
2. cold gasifiers of the liquid nitrogen
3. tank with the liquid oxygen
4. tank with the liquid nitrogen
5. flask with combustible gas
6. pipes from carbon steel
7. flux feeder
8. reducing gear
9. oxygenflux cutter
- 10.cryo blasting unit by CO₂ granules
- 11.nitrogen with granules
- 12.nozzlegun

13.container with CO₂ granules

These systems cooperative usage for eco-friendly power-generating equipment shutdown will be more efficient, because nitrogen and oxygen, which are generated by the cryogenic system, can be used for the severing cryo gas system.

REFERENCES:

1. Belyakov V.P. Cryogenic Engineering and Technology (Energoizdat, Moscow, 1982).
2. Kapitsa P. L. Scientific Works. Low Temperature Physics and Engineering (Nauka, Moscow, 1989).
3. Smorodin A.I., Red'kin V.V., Korobkov A.A. "Selecting the basic structural diagrams of refrigerating and liquefying installations for multimode nitrogen cryogenic systems for nuclear power plants," Bauman MGTU Vestnik, Ser. Mashinostroenie, Special Issue No. 1, 51–59 (2013).

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель каф. АТЭС ЭНИИ ТПУ.

RECOVERY RESOURCE CHARACTERISTICS IN THE RBMK-1000 GRAPHITE STACKS

I.A. Nechupey

National Research Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
Gr. 5031

Nuclear Power Plants's safety operation is one of the most important ways of the nuclear power engineering development. The RBMK-1000 is one of the most used reactors in Russia. Now, RBMK produces electricity for region such as Leningrad Oblast, Kursk Oblast and Smolensk Oblast. In addition, in some CIS countries this reactor generates electricity. Therefore the graphite stacks deformation problem in the RBMK-1000 is the most relevant issue at the moment.

The graphite stack is the main RBMK-1000 element. It is a neutron moderator and reflector. It consists of 2488 vertical graphite columns (blocks), which have height that is equal 7 m and its cross-section is 250x250 mm. Also the graphite stack contains fuel channels. [1]

Deformation in the graphite stacks is the cracks initiation and formation of fuel channels deflection. This deformation mechanism is related to progression and increasing of radiation defects in the graphite during reactor's operating. The deformation causes are the following:

- Irradiation growth of the graphite
- Temperature non-uniformity
- Crack initiation
- Pressure of cracked blocks on other blocks

- Additional deflection from center to the edge

Currently, we have two ways that can solve the above problem:

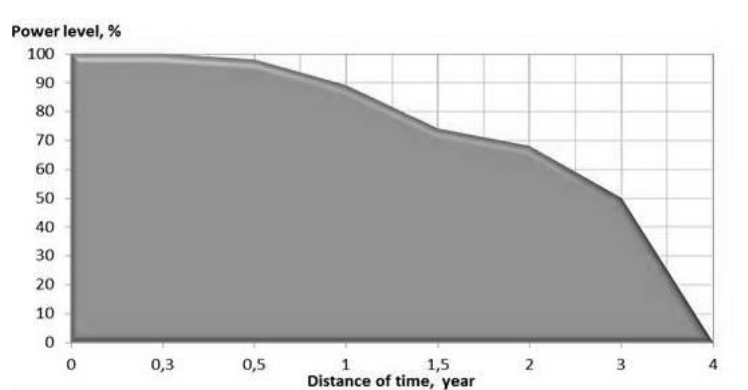
1. Extending the time of RBMK operation in nominal mode until the critical deflection is reached with the further decommissioning
2. Execution of the work to recovery reactor's resource characteristics (RRC)

Reactor's resource characteristics is called the complex of the alignment deflection fuel channels and the closing of cracks with using a special device.

The graph 1 shows that if reactor operates when critical deflection is reached then part of graphite blocks and fuel channels go out of service and the reactor's power gradually falls to zero. It means that the reactor become unserviceable and does not produce enough amount of energy for consumers. This causes profit loss. Also, when critical deflection is reached then the reactor cannot operate more than 2 years, because it can cause uncontrolled chain reaction and other crucial problems.

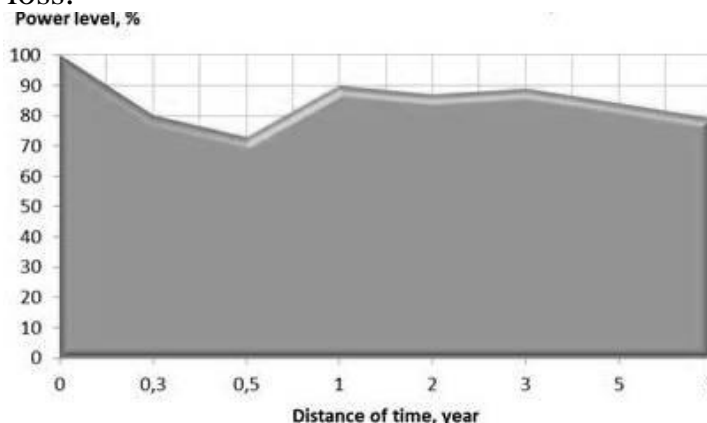
As for decommissioning then the cost of this process is approximately equal the cost of decommissioning of RBMK-1500 Ignalina NPP – 5 billion euro or 400 billion rubles.

For example, WWER-1200 can replace RBMK-1000, because WWER-1200 is easier to operate and it is more powerful. The construction of this reactor costs about 45 billion rubles.



Graph 1. Power level of reactor without RRC

Graph 2 illustrates reactor operation with recovery operation. If RRC is carried out then the reactor can operate on approximately 90-95 percent of nominal power after small losses of power during recovery operation (3-6 mounts). It means that the customers will be able to receive enough amount of electricity. Consequently there is almost no profit loss.



Graph 2. Power level of reactor with RRC

The total cost of the recovery operation for one RBMK unit is 2.5 billion rubles. Special devices for RRC and reactor's calibration cost 1.5 billion rubles. Replacement of the cracked fuel channels costs about 1 billion rubles. When this method is applied, the reactor's operating time increases for 5-15 years which can help our country to prepare for the future reactors' decommissioning and their gradual replacement.

In conclusion it's necessary to add that it is obvious that RRC is better than the first method, because it is more efficient and it can save huge amount of money (2.5 billion rubles vs. 400+45 billion rubles) and RRC can help to prepare for further reactors' decommissioning and their gradual replacement in the RF.

REFERENCES:

1. L.A. Belyanin, V.I. Lebedev, L.V. Shmakov, Y.G. Skok Nuclear Power Plant Safety in inventions. - Moscow: Energoatomizdat, 1998.- 208 p.
2. L.A. Belyanin, V.I. Lebedev, Y.V.Garusov. Safety barriers at nuclear power plants with RBMK reactors . - Moscow: Energoatomizdat, 1997.- 192 p..
3. A.I. Berezyuk, A.I. Timonin, M. E. Lebedev. Forming of graphite stacks industrial uranium-graphite reactors and their safety during operation // Nuclear Energy.- 2002.- T. 92.- p. 291-298.

Scientific advisor: S.V. Lavrinenko, senior lecturer, Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants.

AEROSOLS FORMATION AND ALTERATION SIMULATION IN THE PRIMARY HEAT CARRIER CIRCUIT OF A NPP'S REACTOR DURING A HYPOTHETICAL BEYOND DESIGN CONDITIONS ACCIDENT INVOLVING FISSION PRODUCTS RELEASE

S.E. Gerdt

National Research Tomsk Polytechnic University
Institute of Power Engineering, Department of Nuclear and Thermal Power Plants,
Group 5031

Aerosols formation and alteration simulation in the primary heat carrier, circuit of a NPP's reactor during a hypothetical beyond design conditions accident involving fission products release from fuel into the heat carrier's volume is a necessary condition for estimating the consequences from possible escape of radioactive particles to beyond the reactor pressure vessel boundaries with the following environment radioactive contamination. In the course of such an accident the fuel rods are heated to high temperatures, causing the heat carrier transferring from liquid state into aerosol. Particle unification is one of the most important mechanisms for further evolution of the generated particles. It is exactly the process that accounts for the major part of the computation time.

The kinetic equation for the particle distribution function:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n(r,t)}{\partial t} = & S(r,t) - \frac{\partial}{\partial r} [G(r,t)n(r,t)] - \\ & -R(r,t)n(r,t) + \frac{1}{2} \int_0^r K(s, r-s)n(s,t)n(r-s,t)ds - \\ & -n(r,t) \int_0^\infty K(r,s)n(s,t)ds \end{aligned} \quad (1)$$

In this study, there was given a comparison with the exact (analytical) results solution of different modeling techniques.

For the simplest case with the initial distribution (by the volume of particles) in the form of exponential function the solution of the kinetic equation is given by

$$\begin{aligned} n(v,t) = & \frac{4N_0}{v_0(\tau+2)^2} \exp\left(-\frac{2v}{v_0(\tau+2)}\right) \\ \text{When, } \tau = & N_0 K_0 t \quad K_0 = 10^{-14} \text{ m}^3 / \text{s} \quad (2) \\ N_0 = & 10^{14} \text{ m}^{-3} \quad \alpha = 2 \\ r_0 = & 2.5 \text{ nm} \end{aligned}$$

It follows from the tabulated data that the Hounsflow method and the SOPFAROS module are the most efficient ones. However, the method implemented in the MAEROS module yields more accurate results with the same number of fractions, however Fomm method is the most effective method of all comparable but it hasn't been fully developed yet.

It follows from the performed analysis that the calculation methods used in integral codes for modeling the fission product aerosols behavior give a significant error in calculating the distribution function for large particles in the case of using particle size spectra for which the ratio of particles volumes from neighboring fractions is equal to or greater than two. For more detailed aerosol modeling particle distribution function, it is necessary either to use an essentially larger number of fractions or to develop more efficient new calculation methods.

LITERATURE:

1. V.P. Spasskov, Yu.G. Dragunov, S.M. Ryzhov, et al., Calculated Substantiation of the Thermal and Hydraulic Characteristics of the VVER Reactor and Reactor Plant (Akademkniga, Moscow, 2004)
2. V.N. Piskunov, Theoretical Models of Aerosol Formation Kinetics (Russian Federal Nuclear Center-VNI-IEF, Sarov, 2000).
3. I.M. Ivkov, M.A. Zatevakhin, V.V. Bezlepkina, et al. "Studying the Kinetics of Aerosols in the Containment in Analyzing Emergency Releases at a Nuclear Power Station," At. Energ.109(1), 52 (2010).

4. A.M. Afrov, S.A. Andrushechko, V.F. Ukraintsev, et al., VVER-1000: Physical Principles of Operation, Nuclear Fuel, and Safety (Universitetskaya Kniga, Logos, Moscow, 2006)

Scientific advisor: S.V. Lavrinenko, Senior lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБСОРБЦИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СХЕМАХ ПОДОГРЕВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ

Д.С. Лужковой, О.Ю. Ромашова
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС

Подогрев сетевой воды в нижнем и верхнем подогревателях двухступенчатой сетевой установки (НСП и ВСП соответственно) в течение отопительного сезона значительно отличается от равномерного. При снижении температуры наружного воздуха тепловая нагрузка нижнего теплофикационного отбора и доля подогрева воды в НСП растет. При снижении расхода сетевой воды и росте температуры в обратной магистрали при прочих равных условиях неравномерность подогрева увеличивается [1, 2, 3].

В настоящей работе приводится расчетный анализ использования абсорбционных и компрессионных тепловых насосов (АТН и КТН соответственно) для выравнивания ступенчатого подогрева сетевой воды при уменьшении температуры наружного воздуха. Включение АТН (КТН) в схему двухступенчатого подогрева сетевой воды на ТЭЦ представлено на рисунке 1. В испарителе теплового насоса (ТН) происходит охлаждение обратной сетевой воды, понижение её температуры. Отнятая теплота передаётся сетевой воде в конденсаторе ТН, что приводит к уменьшению температуры сетевой воды за ВСП с соответствующим снижением давления пара в верхнем регулируемом отборе. Одновременное снижение температуры обратной сети и давления пара в ВСП позволяет приблизить режим работы сетевой установки (СУ) к расчетному с равномерным подогревом сетевой воды. Давление в нижнем отборе и соответствующая ему температура сетевой воды за НСП устанавливаются на основе совместного решения формулы Стодоль – Флюгеля для промежуточного отсека турбины и уравнения теплового баланса НСП.

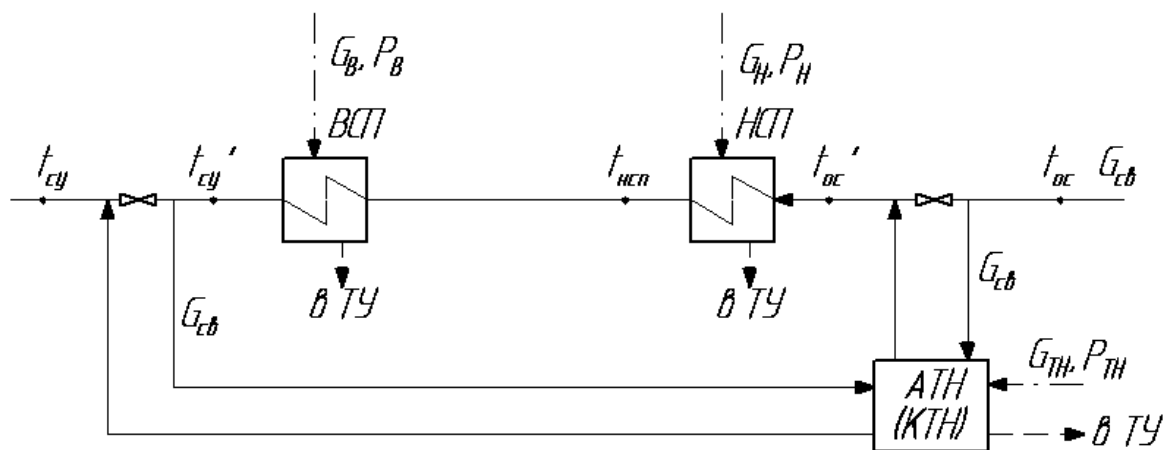


Рис. 1. Включение абсорбционного (компрессионного) теплового насоса в схему двухступенчатой сетевой установки теплофикационной турбины

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1. Расчетный режим теплофикационной турбоустановки соответствует равномерному подогреву сетевой воды. Он близок к температуре включения ПВК и для г. Томска принят равным $t_{нв} = -15$. При минимальной температуре наружного воздуха доля подогрева в нижней ступени сетевой установки составляет 70 % от общего подогрева сетевой воды в НСП и ВСП.

Результаты расчёта представлены в таблице 2.

Табл. 1. Исходные данные для задачи

Параметр	Значение
<i>общие для всех режимов</i>	
Тепловая нагрузка сети Q_m , МВт	200
Давление свежего пара P_0 , МПа	13
Температура свежего пара t_0 , °C	550
Относительный внутренний КПД турбины η_{oi}	0,87
Произведение механического КПД и КПД генератора $\eta_m^* \eta_g$	0,995
<i>Расчетный режим ($t_{нв} = -15$ °C)</i>	
Температура сетевой воды за сетевой установкой t_{cy} , °C	95
Температура обратной сети t_{oc}	47
Доля подогрева сетевой воды в нижней ступени СУ	0,5
<i>Режим минимальной расчетной температуры наружного воздуха без ТН ($t_{нв} = -40$ °C)</i>	
Температура сетевой воды за сетевой установкой t_{cy} , °C	118
Температура обратной сети t_{oc} , °C	70
<i>Режим минимальной расчетной температуры наружного воздуха с ТН ($t_{нв} = -40$ °C)</i>	
Температура сетевой воды за конденсатором АТН t_{cy} , °C	118
Температура обратной сети t_{oc} , °C	70
Коэффициент преобразования теплоты АТН ϕ_{ATH}	1,7
Давление пара отбора на АТН P_{mn} , МПа	0,5
Коэффициент преобразования теплоты КТН $\phi_{КТН}$	4

Табл. 2. Результаты расчета

Параметр	Значение			
	95/47 без ТН	118/70 без ТН	118/70 с АТН	118/70 с КТН
Расход сетевой воды $G_{св}$, кг/с	992,1			
Давление пара отбора на ВСП P_6 , МПа	0,1065	0,2292	0,1065	0,1065
Давление пара отбора на НСП P_n , МПа	0,0422	0,1436	0,0635	0,0505
Расход пара отбора на ВСП G_6 , кг/с	47,07	28,15	27,19	38,54
Расход пара отбора на НСП G_n , кг/с	47,38	65,8	41,45	45,43
Расход пара на ТН $G_{тн}$, кг/с	-	-	26,55	-
Мощность, потребляемая компрессором N_k	-	-	-	23,96
Нагрев сетевой воды в конденсаторе ТН $\Delta t_{наг}$, °С	-	-	23	23
Охлаждение сетевой воды в испарителе ТН $\Delta t_{охл}$, °С	-	-	9,47	17,25
Температура сетевой воды за сетевой установкой t'_{cy} , °С	-	-	95	95
Температура сетевой воды после испарителя ТН t'_{oc} , °С	-	-	60,53	52,75
Температура сетевой воды за НСП $t_{исп}$, °С	71	103,6	81,14	75,35
Расход пара на турбину G_0 , кг/с	94,45	93,95	95,19	83,97
Вырабатываемая электрическая мощность N_e , МВт	92,6	81,24	84,77	57,78
Удельный расход пара на турбину d_0 , кг/МДж	1,02	1,156	1,123	1,453
Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении e	0,463	0,406	0,424	0,289

Результаты расчета эффективности работы турбоустановки при различных режимах работы СУ представлены на рисунках 2, 3.

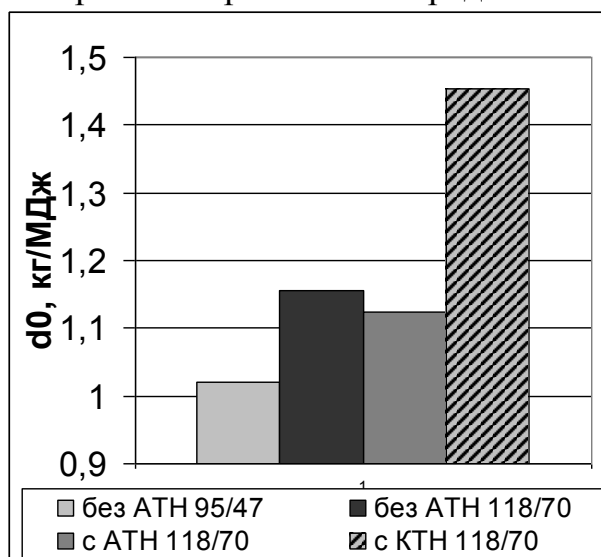


Рис. 2. Удельный расход пара на турбину для различных режимов работы сетевой установки

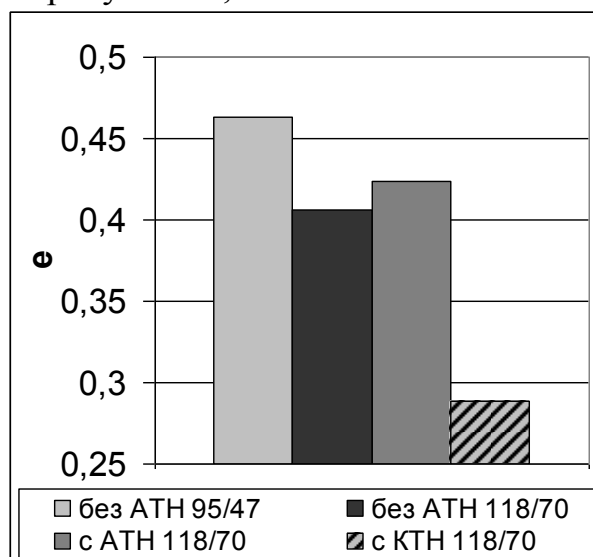


Рис. 3. Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении для различных режимов работы сетевой установки

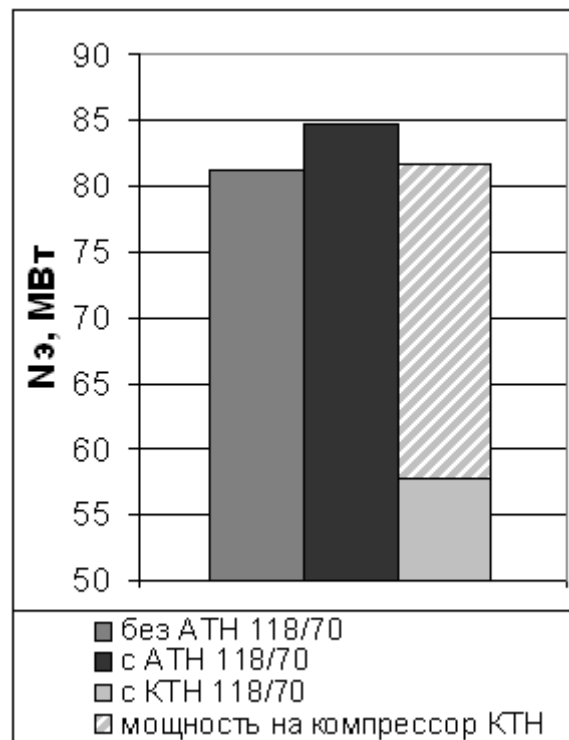


Рис. 3. Выработка электроэнергии для режима работы сетевой установки по графику 118/70 при различных вариантах схемы подогрева сетевой воды

Выводы:

1. Использование АТН и КТН в схеме ступенчатого подогрева сетевой воды при низких температурах наружного воздуха позволяет снизить температуру обратной сети на входе в НСП и выходе из ВСП и приблизить нерасчетный режим сетевой установки к равномерному.
2. Эффективность включения АТН в схему двухступенчатой сетевой установки теплофикационной турбины без промежуточного перегрева с начальными параметрами $P_0=13$ МПа, $t_0=550$ °С для режима с минимальной температурой наружного воздуха оценивается приростом удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении 2-3 % относительно исходной схемы.
3. Использование КТН для выравнивания подогрева сетевой воды в схеме двухступенчатой сетевой установки теплофикационной турбины без промежуточного перегрева с начальными параметрами $P_0=13$ МПа, $t_0=550$ °С для режима с минимальной температурой наружного воздуха приводит к снижению удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении на 25-26 % относительно исходной схемы.
4. Применение КТН для выравнивания подогрева сетевой воды в нерасчётном режиме, по сравнению с АТН, позволяет в большей степени приблизить режим работы сетевой установки к расчётному. Однако, значительные затраты электроэнергии на привод компрессора КТН не позволяют добиться положительного эффекта от их использования для задачи такого рода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ромашова О.Ю., Габидуллин О.Р. Перераспределение поверхностей нагрева между нижней и верхней ступенями сетевой установки теплофикационных турбин //Энергетика: Экология, надежность, безопасность. Материалы докладов девятой Всероссийской научно-технической конференции - Томск, ТПУ, 3-5.12.2003. - Томск: Изд. ТПУ, 2003. - с. 239-242 (93329932).
2. О.Ю. Ромашова, О.Р.Габидуллин. Способ повышения эффективности ступенчатого подогрева сетевой воды на ТЭЦ при совместной работе турбоустановок //Энергетика: Экология, надежность, безопасность. Материалы докладов девятой Всероссийской научно-технической конференции - Томск, ТПУ, 8-10.12.2004. - Томск: Изд. ТПУ, 2004, т1, с. 222-225.
3. Inclusion of absorption heat pumps into heat power plant scheme for stage heating efficiency increase of delivery water [Electronic resource] / O. Yu. Romashova [et al.] // MATEC Web of Conferences. — Les Ulis: EDP Sciences, 2017. — Vol. 110: Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment (HMTTSC 2017). — [01073, 4 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет.

Научный руководитель: О.Ю. Ромашова, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЭС РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

А.И. Баннова, Н.Н. Галашов, С.А. Цибульский, Д.В. Мельников, А.С. Киселев
Томский политехнический университет
ЭНИН, каф. АТЭС, гр. А6-46

Тепловые электрические станции (ТЭС) на углеводородном топливе в ближайшие 25–30 лет останутся основным промышленным источником выработки электроэнергии, обеспечивающим рост мировой и Российской экономики.

По прогнозам Международной Энергетической Ассоциации (IEA) мировая потребность в электроэнергии к 2030 году может достигнуть 30 трлн. кВт·ч. При умеренном развитии атомной энергетики доля ТЭС в производстве электроэнергии может существенно превысить современный уровень.

Источником первичной энергии на ТЭС являются ископаемые виды углеводородного топлива – уголь, природный газ, сланцы и продукты переработки нефти. Уголь в мировой энергетике в настоящее время обеспечивает около 41% производства электроэнергии, а к 2040 его доля превысит 50% [1]. В Российской энергетике доля газа составляет около 70%, а доля угля – 25% [2].

В соответствии с прогнозами IEA в мировой энергетике уголь будет основным видом топлива для ТЭС. В России также предполагается увеличение доли угля до 29% к 2030 г. за счет сокращения доли газа.

Главными проблемами современного состояния ТЭС России являются:

1. Низкая экономичность производства электроэнергии.
2. Старение энергетического оборудования.
3. Сильное влияние на экологию окружающей среды.

Низкая экономичность производства электроэнергии связана с существенным отставанием от мирового уровня развития энергетического оборудования. В настоящее время в Китае, США, Японии, странах ЕС при работе на угле успешно освоены паротурбинные энергоблоки на суперкритические параметры с КПД нетто 43–46%, а при работе на газе – утилизационные парогазовые установки с КПД нетто не менее 57–62%. КПД наших лучших энергоблоков сверхкритического давления при работе на угле составляет 35–38%, а при работе на газе – не выше 41%. Мощные ПГУ для работы на ТЭС у нас вводятся в основном с применением отечественных газовых турбин или устаревших зарубежных и их КПД не превышает 52–55%.

Для выхода на мировой уровень генерации электроэнергии в России необходимо использовать передовой мировой опыт и разрабатывать и внедрять свои высокоэффективные технологии.

Основные пути решения этой проблемы:

- Разработка и внедрение отечественных ГТУ с начальной температурой 1600°C и КПД нетто по выработке электроэнергии до 43–45%. Для этого надо ориентироваться на зарубежный опыт. В настоящее время наиболее мощной является ГТУ 9HA.02 фирмы GE Energy [3], которая имеет электрическую мощность 519 МВт и КПД нетто 42.7%. Температура газов перед газовой турбиной 1600, а за ней 636°C. Количество вредных веществ в уходящих газах составляет 25 ppm для NO_x и 9 ppm для CO. ГТУ имеет модульный корпус, что на 25% сократило затраты в установку. Проточная часть 4-ех ступенчатой турбины и 14-ти ступенчатого компрессора выполнена с помощью 3D моделирования, что позволило довести их КПД до предела. Скорость набора нагрузки составляет 70 МВт/мин. Вывод на номинальную мощность при пуске из холодного состояния составляет всего 10 минут.
- Разработка и внедрение отечественных ПГУ с КПД нетто выше 62%.
- Наиболее мощные ПГУ выполнены на основе ГТУ 9HA.02 фирмы GE Energy [3]. Имеются 2-ве модификации ПГУ. Первая выполнена по схеме 1ГТУ+1ПТУ и имеет следующие показатели: электрическая мощность 774 МВт, КПД нетто 62.7%. Вторая выполнена по схеме 2ГТУ+1ПТУ и имеет электрическую мощность 1552 МВт и КПД нетто 62.8%.
- При разработке ПГУ в России надо учитывать климатические условия. Во многих регионах, особенно регионах основной добычи газа, температура наружного воздуха ниже 0°C стоит до 7–8 месяцев. Применяя

воздухоохлаждаемые конденсаторы можно понизить температуру отвода теплоты в паротурбинном цикле ПТУ и повысить КПД ПГУ примерно на 1%. Еще больше можно повысить КПД ПГУ, если применить бинарный цикл в ПТУ, где нижний цикл – Органический цикл Ренкина, который работает на низкокипящем веществе (НКВ) с отводом теплоты в воздушном конденсаторе. Это позволяет надежно работать при температурах значительно ниже 0°C и достичь КПД нетто до 63% [4]. Также можно увеличить КПД КУ на 10–12% на основе применения технологии работы котлов с понижением температуры газов ниже точки россы и конденсацией водяных паров из уходящих газов [5]. Что позволяет увеличить КПД ПГУ на 2–3%.

- Разработка и внедрение отечественных пылеугольных энергоблоков на супер (СКП) и ультракритические (УКП) параметры с КПД до 46–50%.
- С середины XX века Россия имела наибольшее число энергоблоков в мире на сверхкритическое давление. В конце XX века ввод новых пылеугольных энергоблоков у нас полностью прекратился. Идет только модернизация и реконструкция старых.
- Масштабы развития угольной энергетики в мире весьма значительны. Так в США ожидается ввод до 2030 года более 280 ГВт угольных ТЭС. Большой ввод угольных ТЭС ожидается в КНР и странах ЕС. При этом основной ввод мощностей в этих странах идет на основе энергоблоков на суперкритические (СКП) параметры перегретого пара с давлением 26–30 МПа и температурой 580–610°C, что позволило достигнуть значений КПД 44–47 % [6]. Ведется разработка и внедрению энергоблоков на ультракритические (УКП) параметры с КПД до 55%.
- Россия была одной из первых стран, внедривших суперкритические параметры пара на 2-ух энергоблоках СКР-100. В настоящее время в этом направлении также ведется большое число научных исследований, имеются целевые программы внедрения блоков СКП мощностью 330, 660 и 800 МВт, но из-за отсутствия финансирования дело дальше исследований не идет.
- Разработка и внедрение отечественных гибридных установок на основе топливных элементов (ТЭ) и ГТУ или ПГУ с КПД до 75–80%.
- Одним из наиболее перспективных направлений повышения экономичности и экологической чистоты ТЭС является создание и внедрение гибридных энергоустановок на основе высокотемпературных ТЭ, которые могут работать на природном или синтез-газе. При этом синтез-газ получают в результате газификации угля или биомассы.
- Для создания гибридных установок наиболее подходят твердооксидные ТЭ (ТОТЭ или SOFC по международной классификации), которые работают при температуре 850–1000°C, и ТЭ на основе расплавленных карбонатов (MCFC), работающие при температуре 650–850°C. Эти ТЭ сами имеют КПД до 50–60%, а в сочетании с ГТУ и ПГУ позволяют получить КПД до 75–80%. Главной проблемой применения высоко-

температурных ТЭ является срок их надежной работы, который пока составляет до 5000–8000 часов. В настоящее время созданы и надежно работают электрохимические генераторы мощностью до 10 МВт. В перспективе ожидается создание гибридных установок для работы на ТЭС мощностью 300 МВт и более.

- Разработка и внедрение отечественных установок газификации угля и биомассы.
- Полученный в результате газификации синтез-газ может быть использован в газотурбинных и парогазовых установках, а также в топливных элементах. Использование его в теплоэнергетических установках, вместо сжигания угля, позволит существенно повысить их экономичность и улучшить экологическую чистоту выработки электроэнергии.

Вторая проблема заключается в том, что на 2015 год более 60% отечественного энергетического оборудования выработало нормативный ресурс и требует замены либо реконструкции. Это обусловлено длительным отсутствием единой энергетической политики развития электроэнергетического комплекса и снижением капиталовложений в него. Данный факт является источником повышенного риска для возникновения серьезных аварий.

Массовый характер приобретает технология продления срока службы энергетического оборудования путем экспертизы промышленной безопасности и технического освидетельствования. Этой процедуре оборудование подвергается неоднократно, что повышает риски выхода его из строя.

Для устранения трудностей, которые связаны с состоянием энергетических производственных фондов, необходимы законодательные и нормативные акты, контролирующие деятельность предприятий топливно-энергетического комплекса в областях ввода современного перспективного и высокотехнологичного оборудования [7].

Третья проблема связана с тем, что ТЭС сжигают огромное количество топлива, при этом выбрасываются колоссальные объемы вредных веществ и теплоты в окружающую среду.

Наиболее загрязняющими объектами ТЭК являются угольные энергоблоки [8], поэтому необходимо развивать для данного вида энергоблоков технологии по подавлению и улавливанию вредных веществ в выхлопных газах. К основным проблемам выбросов вредных веществ в атмосферу относятся: эмиссия оксидов азота NO_x , оксидов серы SO_2 , SO_3 , золы и тяжелых металлов. Разницу по выбросам вредных веществ в ЕС и в России в 2008 г. мы видим в таблице.

Показатель	Европейский Союз	Россия
SO_x , мг/м ³	200 – 400	1500 – 2500
NO_x , мг/м ³	200 – 600	900 – 2200
Выброс золы, мг/м ³	<30	450 – 800

Основными техническими решениями для сокращения вредных выбросов на угольных ТЭС являются:

- разработка экологически чистых угольных технологий на основе применения котлов с циркулирующим кипящим слоем, использования водоугольных суспензий, различных схем газификации угля и т. п.;
- создание эффективных газоочистных систем.

Эти технологии, наряду с повышением КПД энергоустановок, представляют самый радикальный путь борьбы с глобальным потеплением климата.

ЛИТЕРАТУРА:

1. World coal association: <http://www.worldcoal.org>.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. <http://www.energystrategy.ru/>
3. Газовые турбины фирмы GE: <https://powergen.gepower.com/products/heavy-duty-gas-turbines/9ha-gas-turbine.html>
4. Galashov N., Tsibulskii S., Matveev A., Masjuk V. Numerical Research of Steam and Gas Plant Efficiency of Triple Cycle for Extreme North Regions. 23 February 2016. <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/201611001019>.
5. Galashov N., Tsibulskiy S., Kiselev A. Application of Evaporative Cooling for the Condensation of Water Vapors from a Flue Gas Waste Heat Boilers CCP. 09 August 2016. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20167201029>.
6. Щинников П.А. Перспективные ТЭС. Особенности и результаты исследования. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 284 с.
7. Анализ состояния энергетического оборудования на объектах энергетики, требующего замены в организациях ТЭК, а также сравнительная характеристика о темпах замены данного оборудования на 1 ноября 2015 г. <http://gosnadzor.ru/activity/analiz/energy/>
8. Красноштейн А.Е., Закиров Д.Г. Энергетические и экологические проблемы развития угольной промышленности и пути их решения // Уголь. – 2009. – N 6. – С. 69–73.

Научный руководитель: Н.Н. Галашов, к.т.н., доцент, каф. АТЭС, ЭНИН ТПУ.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГПУ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Д.В. Мельников, Н.Н. Галашов, С.А. Цибульский, А.И. Баннова, А.С. Киселев
Томский политехнический университет
ЭНИН, каф. АТЭС, гр. А6-46

Вопрос о повышении эффективности выработки электроэнергии на тепловых электрических станциях является одним из важнейших в решении задач энерго- и ресурсосбережения.

На данный момент, электроэнергию в России в основном получают на тепловых электростанциях, использующих традиционное паротурбинное оборудование с коэффициентом полезного действия производства электрической энергии, не превышающим 35–40%.

На сегодняшний день энергетика нуждается в решении ряда важнейших задач ускоренного развития ресурсной базы, энергетической замены и масштабного ввода новых генерирующих мощностей с качественно более высокими параметрами тепловой и топливной эффективности, кардинального повышения надежности систем тепло- и электроснабжения.

В стране обозначилась и реализуется тенденция на строительство децентрализованных источников электро- и теплоснабжения, в том числе с использованием газотурбинных установок отечественного и импортного производства. Одним из многообещающих направлений повышения эффективности ГТУ является создание на их основе газопаровых установок (ГПУ) с энергетическим впрыском пара в камеру сгорания (КС) ГТУ.

Тепловая схема и цикл парогазовой установки зависят от ее вида. Парогазовые установки являются только одним из видов более широкого класса – комбинированных установок с паровыми и газовыми турбинами.

По принципу взаимодействия рабочих тел все комбинированные установки разделяются на две группы: установки с отдельными контурами рабочих тел (бинарные) и установки со смешением рабочих тел, т.е. контактные (монарные) [1]. Первые из них образуют группу парогазовых установок (ПГУ), а вторые – группу газопаровых установок (ГПУ). Большое количество уже введенных в эксплуатацию и строящихся установок относятся к первой группе. Комбинированные установки с отдельными контурами рабочих тел выполняются либо с котлом-утилизатором, в котором пар генерируется только или в основном за счет отходящей теплоты газовой турбины, либо с парогенератором (так называемая сбросная схема), в котором пар генерируется также и за счет теплоты топлива.

Альтернативой бинарной ПГУ являются газопаровые установки с впрыском пара (контактные газотурбинные установки или ПГУ смешения). Их основное отличие от бинарной ПГУ состоит в отсутствии конденсационной паровой турбины с конденсатором и соответствующей системой охлаждения. В сравнении с бинарными ПГУ газотурбинные установки с впрыском пара имеют результирующий КПД на 1,5–2,0% ниже. Ввод пара увеличивает расход рабо-

чего тела через турбину и повышает мощность установки. Прирост удельной работы газопаровой установки на каждый процент вводимого пара или воды по сравнению с обычной ГТУ составляет 4-5%. Ввод воды или пара чаще всего применяется для компенсации потери мощности ГТУ при повышенных температурах воздуха в летний период. Каждый процент впрыска эквивалентен снижению температуры атмосферного воздуха на 7-8 градусов. Кроме того, впрыск улучшает маневренные характеристики ГТУ. Важным является улучшение экологических характеристик газотурбинных установок из-за эффективного подавления образования оксидов азота. Впрыск в ГТУ может быть как «энергетическим» с вводом в газовый тракт более 10% пара, так и «экологическим» с впрыском до 5% пара.

Вместе с тем состав оборудования контактных газотурбинных установок проще, а удельные капиталовложения меньше, чем у ПГУ бинарного цикла. По своей технологической схеме газотурбинная установка с впрыском пара является наиболее простой из всех установок комбинированного цикла.

В настоящее время контактные когенерационные газотурбинные установки находят широкое применение как высокоэффективные источники тепловой и электрической энергии во многих странах мира [2–4].

Такие установки, выполненные на основе уже готовых ГТУ, отличаются достаточной надежностью, относительной простотой и экологичностью.

В ряде случаев работа ГТУ осуществляется на режимах ниже оптимального по КПД, поэтому заказчика интересует экономическая эффективность агрегата в целом. Это определяет большое количество возможных схем установок на базе ГТУ. Газотурбинные установки с впрыском пара могут обеспечивать высокую эффективность использования топлива и конкурируют с различными типами установок, а именно с ПГУ, ГТУ–ТЭЦ, ПГУ–ТЭЦ. В нашей стране циклы газотурбинных установок с вводом пара (STIG) исследуются в АО «Рыбинские моторы», НППФ АО «Мосэнерго», ММПФ «Салют», Институте высоких температур РАН.

За рубежом фирмой General Electric создан ряд установок такого типа (LM 2500, LM 5000, LM 6000). Качественный скачок в этом направлении может быть достигнут в результате использования ГТУ с впрыском пара в составе когенерационных установок для совместной выработки электроэнергии и тепла, что и предлагается решением данного проекта. При этом утилизационный теплообменный аппарат может быть смесительного или контактного типа, как например, в схеме КГПУ–16 НПО «Машпроект». Основной недостаток контактных ГТУ — необходимость обеспечения качества воды для утилизационного парогенератора, которая теряется с отработавшими газами. Это определяет целесообразность использования теплоты конденсации водяного пара из газопаровой смеси, покидающей установку, и возвращения конденсата.

За рубежом контактные газопаровые установки нашли достаточно широкое применение, как в качестве пиковых энергоагрегатов, так и в стационарных газо-паровых установках типа STIG (Steam Injection Gas Turbine), работающих по циклу Ченя. В установках этого типа перегретый пар, генерируемый котлом-утилизатором, впрыскивается в газовый тракт ГТУ, а часть его может подавать-

ся промышленным потребителям. В США контактные газопаровые установки по циклу STIG мощностью 26,9 и 49,5 МВт работают с КПД 40,2 и 43,0%. Удельные капиталовложения в контактные ПГУ типа STIG на 10–20% ниже, чем в бинарные ПГУ. Несмотря на повышенную удельную мощность и меньшую удельную стоимость газопаровых установок, их большим недостатком является необходимость подготовки большого количества обессоленной воды.

В настоящее время разработана новая более совершенная технология контактных газопаровых энергетических установок с конденсацией паровой составляющей парогазовой смеси после КУ и сепарацией влаги. Новый тип контактных ПГУ разработан в Украине под руководством профессора Н.А. Дикого и получил название «Водолей» [5]. На рисунке 1 показана принципиальная схема газопаровой установки.

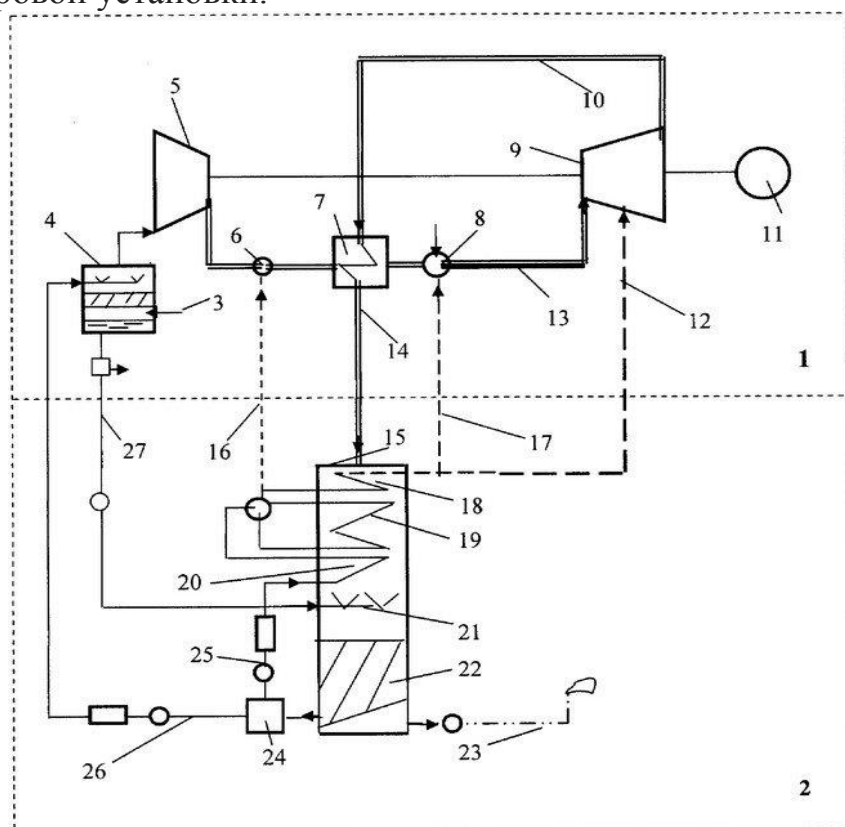


Рис.1. Принципиальная тепловая схема контактной газопаровой установки «Водолей»: 1–газопаротурбинный блок; 2–блок утилизации тепла парогазовой смеси 3–трубопровод атмосферного воздуха; 4–контактный воздухоочиститель-водоохладитель; 5–воздушный компрессор; 6–камера смешения; 7–регенератор; 8–камера сгорания; 9–парогазовая турбина; 10–выхлопной трубопровод парогазовой смеси; 11–электрогенератор; 12–паропровод системы охлаждения газопаровой турбины; 13–трубопровод высокотемпературной парогазовой смеси; 14–трубопровод парогазовой смеси. 15–паровой котел-утилизатор; 18–пароперегреватель; 19–испаритель; 20–водяной экономайзер; 21–оросительное устройство; 22–газоохладитель-конденсатор с сепарационным устройством, 23–выхлопной газоход с дымососом. В состав блока 2 также входят трубопровод 16, паропровод 17, бак сепарированной воды 24, трубопровод питательной воды 25 с питательным насосом, установками умягчения и деаэрации, трубопровод подогретой сепарированной воды 26 с насосом и установкой

умягчения, трубопровод охлажденной оросительной воды 27 с грязевым фильтром и насосом.

В установках этого типа экологический впрыск пара производится в воздушный поток после компрессора, энергетический – в камеру сгорания ГТД. Парогазовая смесь поступает в утилизационный парогенератор, где охлаждается и поступает в конденсатор-газоохладитель, в верхней части которого размещен жалюзийный влагоуловитель. Под ним находится ороситель, к которому подается охлаждающая вода, а далее – контактный конденсатор. Конденсат, образующийся в контактном конденсаторе с температурой 50–60 °С, отводится в конденсатосборник и на фильтры конденсатоочистки.

Смесь конденсата пара и охлаждающей воды разделяется на два потока. Первый из них (питательная вода) подается в парогенератор, второй – во внешний охладитель, который может быть выполнен в виде градирни или аппаратов воздушного охлаждения.

На базе судовых газотурбинных двигателей НПО «Машпроект» (г. Николаев) созданы газопаровые установки «Водолей-16» и «Водолей-25» мощностью 16 и 25 МВт с КПД 43%. ММП «Салют» ведутся разработки ГПУ-STIG мощностью 100 МВт на базе авиадвигателей АЛ-21 и АЛ-21-СТ20, поставляемых для газоперекачивающих станций. Уровень температур за камерой сгорания у них порядка 1420 °С, а КПД до 50%. Имеется проект ГПУ мощностью 300 МВт со степенью сжатия 54 и температурой рабочего тела за камерой сгорания 1600 °С с КПД 54%.

По данной тематике исследований и публикаций явно недостаточно, что предопределяет целесообразность проведения комплекса научных исследований по определению схем и характеристик ГПУ, оценке ее энергоэффективности с учетом различных факторов, а также разработки методических положений совершенствования основных схемно-параметрических решений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-3/3-8>.
2. Каталог газотурбинного оборудования. М.:, 2006. – 240 с.
3. Стырикович М.А., Фаворский О.Н., Батенин В.М. Парогазовая установка с впрыском пара: возможности и оптимизация параметров цикла // Теплоэнергетика, 1995, № 10. – С. 52–57.
4. Фаворский О.Н., Батенин В.М., Зейгарник Ю.А. Комплексная парогазовая установка с впрыском пара и теплонасосной установкой (ПГУ МЭС60) для АО "Мосэнерго" // Теплоэнергетика, 2001, № 9. – С. 50–58.

5. Цанев, С.В. Расчет показателей тепловых схем и элементов газотурбинных и парогазовых установок электростанций [Текст]: монография / С.В. Цанев, В.Д. Буров, С.Н. Дорофеев и др. - М.: Изд. МЭИ, 2000. – 584 с.

Научный руководитель: Н.Н. Галашов, к.т.н., доцент, кафедра АТЭС ЭНИН ТПУ.

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА РУ БН-1200

Р.О. Цицер
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5031

Общая характеристика энергоблока

Разрабатываемый энергоблок БН-1200 выполнен по принципу моноблока: один реактор - одна турбина.

Тепловая схема энергоблока БН-1200 содержит три контура циркуляции. В 1 и 2 контурах находится теплоноситель (жидкий натрий), рабочее тело 3 контура – вода и пар.

Особенностью реакторной установки БН-1200 - интегральная компоновка 1 контура, при которой основное оборудование и активный теплоноситель 1 контура сосредоточены в баке реактора, заключенном в страховочный корпус.

Первый контур включает четыре петли циркуляции (в БН-800 три петли), каждая из которых имеет главный циркуляционный насос (ГЦН-1) и промежуточный теплообменник (ПТО).

Второй контур (промежуточный) также включает четыре петли, каждая из которых состоит из одного ПТО, двухкорпусного парогенератора (ПГ), ГЦН-2 с баком и трубопроводов.

Третий контур с паровым промперегревом включает турбину на давление пара 17 МПа и температуру пара 510°C, температура питательной воды принята равной 275°C.

Для исключения попадания радиоактивного натрия из первого контура во второй давление во втором контуре принято более высоким, чем давление в первом контуре.

В третьем контуре для упрощения схемно-компоновочных решений и конструкции ПГ, а также с целью повышения безопасности ПГ за счет минимизации поверхности теплообмена между водой и натрием, применена схема с паровым промперегревом пара.

С целью унификации оборудования выдачи электроэнергии в проекте БН 1200 применен генератор АЭС-2006. С целью обеспечения КПД (брутто) установки не менее 43,6% повышены температуры острого пара и питательной воды по сравнению с соответствующими параметрами энергоблока с РУ БН-800.

Энергоблок с РУ БН-1200 предназначен для работы в энергосистеме в базовом режиме. Число часов использования установленной электрической мощности принято равным 7884 за год ($KIUМ=0,9$), исходя из графика простоя энергоблока на перегрузки, ремонты и оцениваемых незапланированных потерь.

Новые технические решения

При разработке проекта РУ БН-1200 сохранена преемственность по принципиальным техническим решениям, положительно зарекомендовавшим себя в БН-600 и примененным в БН-800 [1, 2].

Принципиально новым решением является введение в бак реактора БН-1200 оборудования системы аварийного отвода тепла и системы очистки натрия первого контура. Последнее позволило полностью исключить возможность течи радиоактивного натрия наружу.

Для реактора БН-1200 разрабатываются два исполнения активной зоны – с нитридным и МОКС-топливом. В проекте принята пониженная энергонапряженность активной зоны (не более 230 МВт/м³ вместо ~450 МВт/м³ в БН-600 и БН-800) и, соответственно, укрупненный ТВЭЛ диаметром не менее 9,3 мм. Укрупнение ТВЭЛ в совокупности с планируемым поэтапным повышением выгорания МОКС топлива до 120 МВт·сут./кг, нитридного топлива – до 90 МВт·сут./кг обеспечит значительное увеличение кампании ТВС и снижение затрат на топливо. Наряду с этим достигается увеличенный интервал между перегрузками – 1 год вместо 0,5 года для БН-600 и БН-800. С учётом этого КИУМ БН-1200 обеспечивается на уровне 0,9.

В проекте БН-1200 снижено нейтронное облучение внутриреакторных конструкций. Это одна из мер, направленных на обеспечение увеличенного срока службы реактора - 60 лет.

Конструкцию ПГ в проекте БН-1200 предполагается существенно укрупнить (с учетом продемонстрированной высокой надежности прямотрубного ПГ БН-600) с целью снижения материалоемкости РУ. Предусмотрено использование вертикальных и прямоточных корпусного типа ПГ (8 модулей), для БН- 600 – 72 модуля, для БН-800 – 60 модулей. Кроме того, с целью увеличения ресурса ПГ в них предусмотрено использовать новый конструкционный материал – сталь 07Х12НМФБ.

Также с целью снижения материалоемкости второго контура для компенсации температурных расширений предусмотрены сильфонные компенсаторы и исключена запорная арматура.

Система перегрузки БН-1200 значительно упрощена благодаря принятию ряда новых решений и снижению остаточного энерговыделения в выгружаемых ТВС за счет увеличения их выдержки во внутриреакторном хранилище до двух лет. Благодаря последнему решению исключен, в частности, натриевый барабан для промежуточной выдержки отработавших ТВС перед их отмывкой и транспортировкой в бассейн выдержки.

Существенные изменения в конструкции РУ БН-1200 предусматриваются по системам безопасности [3].

С целью минимизации последствий ЗПА в проекте РУ БН-1200 наряду с пассивной аварийной защитой планируется ввести дополнительные стержни пассивного принципа действия, срабатывающие при повышении температуры натрия в реакторе.

В проекте БН-1200 рассмотрена специальная система локализации аварийных выбросов, которая отсутствует в БН-600 и БН-800.

Для локализации аварийных выбросов используется объем надреакторного пространства (аналог контейнента).

Система аварийного отвода тепла подключена непосредственно к первому контуру через автономные теплообменники (АТО), установленные в баке реактора. Воздушные теплообменники (ВТО) соединены с АТО промежуточным натриевым контуром.

В отличие от проекта БН-800, в котором ВТО присоединены ко второму контуру, принятая в БН-1200 схема повышает надежность функционирования САОТ, поскольку исключает влияние второго контура на ее работу. САОТ включает четыре независимых канала суммарной мощностью 80 МВт, что составляет 2,7% от номинальной мощности реактора и обеспечивает естественную циркуляцию по всем контурам.

В проекте предусматривается схема системы охлаждения воды бассейна выдержки (БВ) с однофазным термосифоном, при этом не требуется обеспечения:

- надежного технического водоснабжения – охлаждение в БВ осуществляется атмосферным воздухом;
- надежного электроснабжения в режиме обесточивания - система работает на принципе естественной циркуляции.

Использование пассивных систем безопасности обеспечивает значительное сокращение количества оборудования в системе аварийного электроснабжения (САЭ) по сравнению с БН-800.

В проекте БН-1200 постулируется тяжелая авария с расплавлением активной зоны. На этот случай в нижней части корпуса реактора, как в проекте БН-800, предусматривается поддон из тугоплавкого металла для исключения выхода топлива в шахту реактора. В этой ситуации выполняет свои функции и герметичное надреакторное помещение, задерживая пары радиоактивного натрия и аэрозоли.

В проекте энергоблока с РУ БН-1200 обеспечивается модульность компоновки технологических систем (все четыре петли выполняются в идентичных строительных конструкциях в плане и по высоте), применены разъемные страховочные кожухи трубопроводов, компенсация температурных перемещений осуществляется при помощи сильфонных компенсаторов.

Для расчетного обоснования проекта используется комплекс расчетных проектных кодов, создаются коды нового поколения. К настоящему времени около 60% кодов аттестованы, остальные находятся в стадии верификации и аттестации.

Верифицируется тест-симулятор, разработанный на базе математической модели энергоблока с РУ БН-1200 на основе расчетного кода РАСНАР-БН.

Для обоснования проекта выполнен большой объем расчетных и экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проводятся как на существующих, так и на вновь созданных стендах (включая натриевые стенды). Для проведения исследований созданы рабочие участки стендов, экспериментальные модели, макеты, опытные образцы.

Оценка эффективности новых технических решений

Реализация новых технических решений позволит:

- сократить количество технологических (~14 систем) обеспечивающих систем;
- снизить протяженность основных натриевых трубопроводов второго контура примерно в 1,8 раза по сравнению с БН-800;
- снизить количество натриевой и пароводяной арматуры РУ более чем на 900 единиц по сравнению с РУ энергоблока БН-800;
- уменьшить на ~200 метров длину вентиляционных коробов из нержавеющей стали диаметром 400 мм;
- снизить объем электрообогрева и количество кабельной продукции примерно в 2 раза по сравнению с БН-800;
- отказаться от надежно технического водоснабжения;
- для системы аварийного электроснабжения (САЭ):
- снизить мощность дизель-генераторов САЭ \approx на 50%,
- уменьшить общее количество ДГУ на два,
- уменьшить общее количество оборудования САЭ \approx на 40%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. М.Р. Аширметов, Б.А. Васильев, В.М. Поплавский, С.Ф. Шепелев. Разработка проекта энергоблока с РУ БН-1200 // Международная конференция FR-13, Париж, Франция, 2013 г.
2. Б.А. Васильев, Ю.Л. Каманин, В.В. Гладков и др. Совершенствование оборудования реакторных установок на быстрых нейтронах // Атомная энергия, 2010, т. 108, вып. 4, с. 241-245.
3. Б.А. Васильев, В.И. Евсеев, Н.Г. Кузавков и др. Реализация принципа естественной безопасности в проекте РУ БН- 1200 // Международный журнал «Безопасность ядерных технологий и окружающей среды», 2012, №1, с. 62-65.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ

УСТРОЙСТВО ЛОКАЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА

А.С. Королев

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС группа 5031

Устройство локализации расплава (УЛР) при тяжелой аварии с разрушением активной зоны и корпуса реактора удерживает расплав и твердые фрагменты разрушенной активной зоны, части корпуса реактора и внутрикорпусных устройств. Локализация и охлаждение расплава осуществляется в пределах подреакторного помещения бетонной шахты неограниченное время. В течение первых 24 часов после аварии в условиях полного обесточивания АЭС локализация и охлаждение расплава обеспечивается при отсутствии дополнительной подпитки охлаждающей воды извне герметичной оболочки. Для обеспечения последующего надежного удержания расплава в устройстве локализации расплава необходимо обеспечить восполнение запаса воды.

УЛР выполняет следующие основные требования [1]:

- обеспечивает прием и размещение в своем объеме расплава и твердых фрагментов активной зоны и конструкционных материалов реактора;
- обеспечивает устойчивую передачу тепла от расплава к охлаждающей воде;
- удерживает днище корпуса реактора с расплавом при его отрыве или пластическом деформировании до момента выхода расплава из днища корпуса реактора;
- предотвращает выход расплава за установленные границы зоны локализации;
- обеспечивает подкритичность расплава в бетонной шахте;
- обеспечивает подачу воды в бетонную шахту и отвод пара из бетонной шахты;
- обеспечивает минимальный вынос радиоактивных веществ в пространство герметичной оболочки;
- обеспечивает минимальный выход водорода;
- обеспечивает непревышение максимальных допустимых напряжений в конструкциях, расположенных в подреакторном помещении бетонной шахты при различных статических и механических нагрузках;
- способно выполнить свои функции без управляющего воздействия со стороны оперативного персонала.

Кроме того, в процессе взаимодействия расплава с конструкционными материалами и строительными конструкциями выделяются газы. Эти газы оказывают различное воздействие на герметичную оболочку:

- увеличивают давление в герметичной оболочке;
- увеличивают тепловое и динамическое воздействие на герметичную оболочку при диффузионном горении или взрыве газовых смесей;
- интенсифицируют процессы выноса радиоактивных аэрозолей;

- ускоряют процессы разрушения строительных конструкций.

Для этой цели УЛР проектируется таким образом, чтобы на внекорпусной стадии локализации расплава:

- обеспечить не превышение допустимых механических, термических и химических нагрузок со стороны расплава активной зоны на строительные конструкции и оборудование;
- обеспечить допустимый выход газов в процессе локализации расплава;
- обеспечить не превышение допустимых давления и температуры парогазовой среды в гермообъеме;
- обеспечить подкритичность кориума на всех этапах его внекорпусного охлаждения.

Размещение компонентов

Конструкция УЛР состоит из следующих элементов:

- плита нижняя;
- ферма-консоль;
- площадка обслуживания;
- наполнитель (жертвенный материал);
- корпус с опорами.

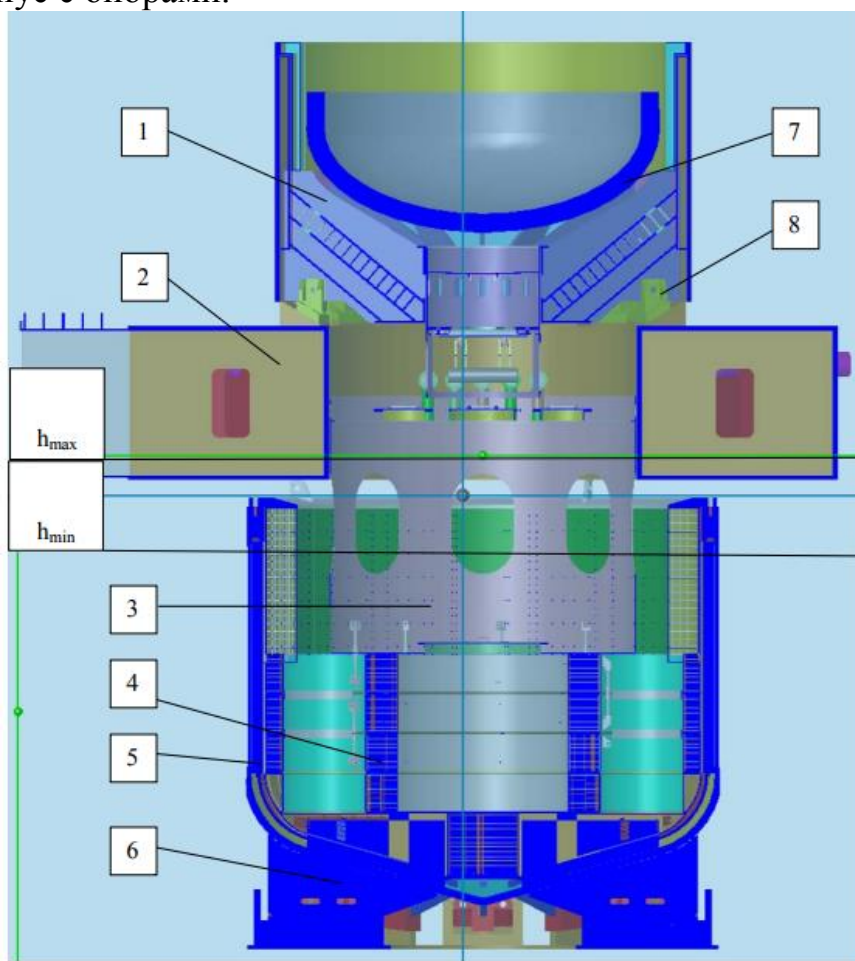


Рис. 3. Внутреннее устройство УЛР: 1 - нижняя плита; 2 - ферма-консоль; 3 - площадка обслуживания; 4 – наполнитель; 5 – корпус УЛР; 6 - опора корпуса УЛР; 7 - корпус реактора; 8 - опора нижней плиты; h_{\max} – максимальный уровень воды; h_{\min} – минимальный уровень воды

В случае тяжелой запроектной аварии с расплавом активной зоны и корпуса реактора локализация расплава осуществляется по следующим этапам:

1. После проплавления корпуса реактора расплав кориума попадает в пространство, ограниченное сбоку и снизу водоохлаждаемыми стальными стенками корпуса УЛР, расположенного в подреакторном пространстве бетонной шахты.
2. Пространство УЛР, которое охлаждается водой, частично заполнено жертвенным материалом, который состоит из специальной композиции относительно легких и легкоплавких оксидов и стали конструктивных элементов.
3. Поступающий из реактора расплав кориума взаимодействует с жертвенным материалом, что оптимизирует условия теплоотвода, сглаживает неопределенности, обусловленные различием сценариев протекания тяжелой аварии.
4. Для охлаждения расплава используется вода, которая самотеком поступает с пола на отметке 0,0; баков-приямков и из шахт ревизии ВКУ. Генерируемый в УЛР пар отводится в пространство контейнента через каналы, размещенные в ферме-консоли. Запаса охлаждающей воды достаточно для ее подачи в корпус УЛР пассивным способом в течение 24 часов полного обесточивания АЭС. Снаружи корпус УЛР охлаждается водой, поступающей в бетонную шахту с пола на отметке 0,0 и/или баков-приямков
5. Корпус УЛР обеспечивает отвод тепла от ванны расплава снизу и с боковой стороны. Защита расположенных выше строительных конструкций от теплового излучения с зеркала расплава до завершения формирования ванны расплава осуществляется специальными теплозащитными экранами и последующей подачей воды на поверхность расплава.
6. Обеспечение инверсии металлической и оксидной компонент перед подачей воды на зеркало расплава гарантирует отсутствие паровых взрывов.
7. Отсутствие воды в наполнителе, расположенном в корпусе УЛР, до момента поступления в него расплава обеспечивается конструктивными мерами.

Время поступления расплава в УЛР определяется по температуре внутренней полости площадки обслуживания, которая измеряется датчиками. Если эта температура превышает 400 °С, то расплав поступил в УЛР.

Через один час с этого момента необходимо подать воду сверху на кориум из шахт ревизии ВКУ.

Через 24 часа после начала запроектной аварии, связанной с плавлением активной зоны реактора, будет восстановлено электропитание. В этом случае в проекте предусмотрены варианты подпитки шахты ревизии ВКУ для продолжения подачи воды в корпус УЛР на поверхность расплава.

Прием и рассредоточение расплава осуществляются в наполнителе.

Наполнитель, состоит из:

- пяти блоков кассет;
- узлов крепления блоков кассет;
- тепловой защиты фланца корпуса.

Конструктивно каждый блок кассет представляет собой цилиндрическую конструкцию, имеющую днище, наружную обечайку и крышку, в которой размещаются кассеты с элементами ПОЖА из оксидов железа и алюминия с небольшой добавкой оксида гадолиния [2]. Кассеты и конструкция блока составляют вместе единый силовой элемент.

Блок кассет первого типа имеет днище, повторяющее днище корпуса, остальные блоки кассет имеют в центре сквозное отверстие, что позволяет одновременно и равномерно распределить расплав по всем блокам кассет. Каждый блок кассет имеет по шесть вертикальных прорезей, через которые производится их крепление к корпусу УЛР и между собой посредством узлов крепления.

Верхняя часть корпуса с фланцем ограждается блоком бетонной тепловой защиты.

Все установленные в корзине материалы и сама корзина составляют жертвенный материал. Взаимодействие поступившего в корзину расплава с жертвенными материалами обеспечивает:

1. эффективное снижение температуры сильно перегретой металлической составляющей расплава;
2. уменьшение объемной плотности энерговыделений в расплаве;
3. уменьшение выхода массы газов, аэрозолей и радионуклидов в герметичную оболочку;
4. уменьшение выхода тепловой энергии в герметичную оболочку в начальный период после поступления расплава;
5. подкритичность расплава.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Устройство локализации расплава для АЭС с ВВЭР-1200 / И.А. Сидоров ОАО «Атомэнергопроект», Москва, Россия // 7-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия 17-20 мая 2011 г.
2. Гусаров В.В., Альмяшев В.И., Хабенский В.Б., Бешта С.В., Грановский В. С. Новый класс функциональных материалов для устройства локализации расплава активной зоны ядерного реактора // Российский химический журнал. — М., 2005. — № 4. — С. 17—28.
3. Андрушечко С.А., Афоров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.Н., Косоуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В.Ф. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. — М.: Логос, 2010. — 604 с. — 1000 экз.

4. Ядерные энергетические установки: учебное пособие для вузов / К.Н. Проскуряков М.: Издательский дом МЭИ, 2015. - 446 с.: ил.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, ст. преподаватель каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ИМПУЛЬСНОЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАТОРА ДАВЛЕНИЯ

Д.А. Дашкевич
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5031.

Введение

Одной из приоритетных задач на АЭС является недопущение превышения давления в первом контуре. Для защиты оборудования и трубопроводов 1 контура на компенсаторе давления установлены импульсные предохранительные устройства (ИПУ).

Краткое описание ИПУ КД

На неотключаемом от КД участке трубопровода сброса в бак барботер установлены параллельно три предохранительных устройства. Одно предохранительное устройство контрольное, остальные два рабочие. Контрольное предохранительное устройство настроено на более низкое давление срабатывания по сравнению с рабочими. Конструктивно контрольные и рабочие предохранительные устройства не отличаются.

Каждое из ИПУ КД состоит из [4]:

- главного клапана (рис. 1);
- двух параллельно подключенных импульсных клапанов (ИК, рис 2);
- четырёх ручных запорных клапанов.

Для дистанционного управления ИПУ КД оборудовано дополнительной линией управления (сбросная линия) в составе:

- дистанционно-управляемым электромагнитным запорным клапаном (ЭМЗК);
- – электроприводным запорным клапаном (ЭПЗК).

На ИК и ЭМЗК установлены электромагнитные привода. ЭМЗК управляется дистанционно от ключа управления с БЩУ и уставок, а электромагнитные привода ИК только от уставок (по принципу тока покоя). При обесточивании электромагнитного привода, ИК работает как клапан прямого действия (от пружины). Установочное положение ЭМЗК и ЭПЗК – вертикальное, электромагнитом и электроприводом вверх.

Главный клапан действует по разгрузочному принципу [3]. Разгрузочный принцип характеризуется тем, что:

- открытие главного клапана происходит за счёт подъёмной силы, действующей на золотник-поршень главного клапана, возникающей во

время открытого положения ИК вследствие снижения давления в надпоршневой области;

- закрытие происходит за счёт прижимающей силы, возникающей из-за перепада давления на золотнике-поршне вследствие разности эффективных площадей его нижней и верхней поверхности, причём сила прижатия золотника к седлу возрастает с повышением давления среды в разгрузочной полости золотника-поршня (давление рабочей среды).

Функции ИПУ КД

Функция защиты от превышения давления осуществляется путём сброса среды из компенсатора давления в барботажный бак при повышении давления в 1 контуре до уставки срабатывания датчиков давления.

Модернизация

Использование легирующих наплавов в части контакта теплоносителя с главным и импульсными клапанами, может уменьшить влияние борной кислоты на металл. Это позволит нам ИПУ КД при превышении концентрации борной кислоты выше 20 г/дм³. [1,2] Это заметно удорожит стоимость конструкции, но увеличит срок службы. Также данная наплавка уменьшит воздействие радиоактивных осколков в теплоносителе, которое ведет в охрупчиванию материала. Наплавка же будет менее подвержена воздействию ионизационному излучению от теплоносителя.

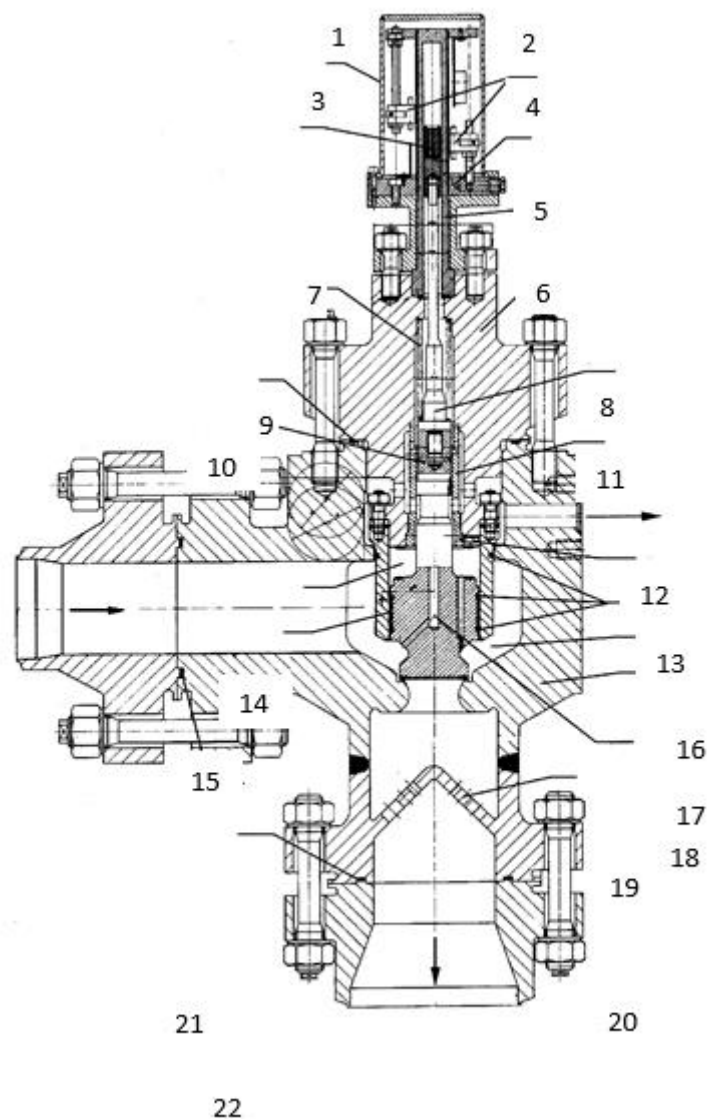
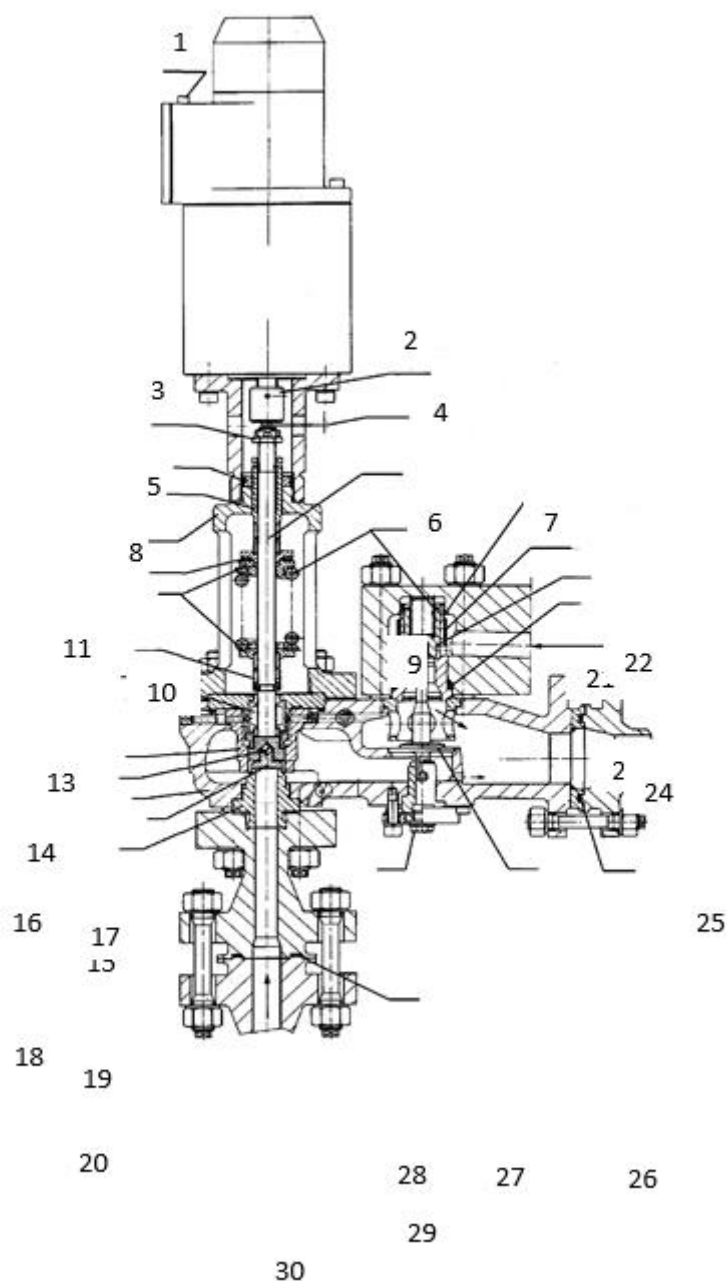


Рис. 1. Главный предохранительный клапан ИПУ КД. 1 – колпак защитный, 2 – датчики положения клапана, 3 – постоянный магнит, 4 – указатель положения клапана, 5 – труба, 6 – крышка, 7 – установочная возвратная пружина, 8 – опорная штанга, 9 – прокладка никелевая, 10 – штифт, 11 – главный цилиндр, 12 – сброс пара из разгрузочной полости через импульсный клапан в барботер, 13 – винт установочный, 14 – разгрузочная полость, 15 – наплавка, 16 – кольцо поршневое, 17 – камера “А”, 18 – корпус, 19 – дроссельное отверстие, 20 – диафрагма.



Импульсный клапан ИПУ КД. 1 – ввод кабеля, 2 – подпружиненный сердечник электромагнита, 3 – корончатая гайка, 4 – зазор 9мм при отключенном электромагните, 5 – контргайка, 6 – шпindel, 7 – цилиндр направляющий, 8 – нажимной винт, 9 – пружина, 10 – колпак пружины, 11 – игольчатый подшипник, 12 – тарелка пружины, 13 – втулка, 14 – сильфон, 15,23,26,29 – прокладка никелевая, 16 – втулка, 17 – шарик, 18 – корпус, 19 – золотник, 20 – втулка, 21 – защитная рубашка, 22 – золотник, 24 – сброс пара из надпоршневой разгрузочной полости ГПК, 25 – сброс пара в барботер, 27 – отсечная плита, 28 – пробка, 30 – вход пара из КД.

Заключение

Импульсное предохранительное устройство компенсатора давления является одной из наиважнейших частей в системе защиты первого конура от превышения давления. Его части должны быть максимально защищены от любого рода воздействия на конструкционные материалы его основных частей. Из-за

важности данного устройства на станциях резервируют этот аппарат в количестве двух единиц подключенных так, что при поломке одного, другой сразу же переходит в активную работу.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Зорин, Вячеслав Михайлович. Атомные электростанции: учебное пособие для вузов / В. М. Зорин. - Москва: Изд-во МЭИ, 2012. - 670 с.
2. Трубопроводная арматура с автоматическим управлением. Справочник. Под общей редакцией С. И. Косых. Л.: Машиностроение, 1982.
3. Трубопроводная арматура. Справочное пособие. Д. Ф. Гуревич — Л.: Машиностроение, 1981.
4. Технологические системы реакторного отделения. БАЭС: ЦПП, 2000.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КОЛЛЕКТОРЕ ПРОДУВКИ КАРМАНОВ ПАРОГЕНЕРАТОРА

М.В. Кузнецов
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5021

Основным критерием безопасности сложного технического объекта является его надежность. Основными факторами, характеризующими надежность, являются отсутствие ошибок в проектировании и расчете конструкции, правильность выбора материалов и технологии изготовления, качество применяемых материалов и технологии изготовления.

Опыт эксплуатации парогенераторов ПГВ-1000 и его модернизированных моделей (ПГВ-1000М, ПГВ-1000МКП) показал, что в процессе работы парогенератора происходит отложение шлама в «карманах» парогенератора, что приводит к коррозионному растрескиванию узла приварки коллектора теплоносителя к корпусу парогенератора в зоне сварного соединения №111.

Шлам представляет собой плотные отложения оксидов меди и железа.

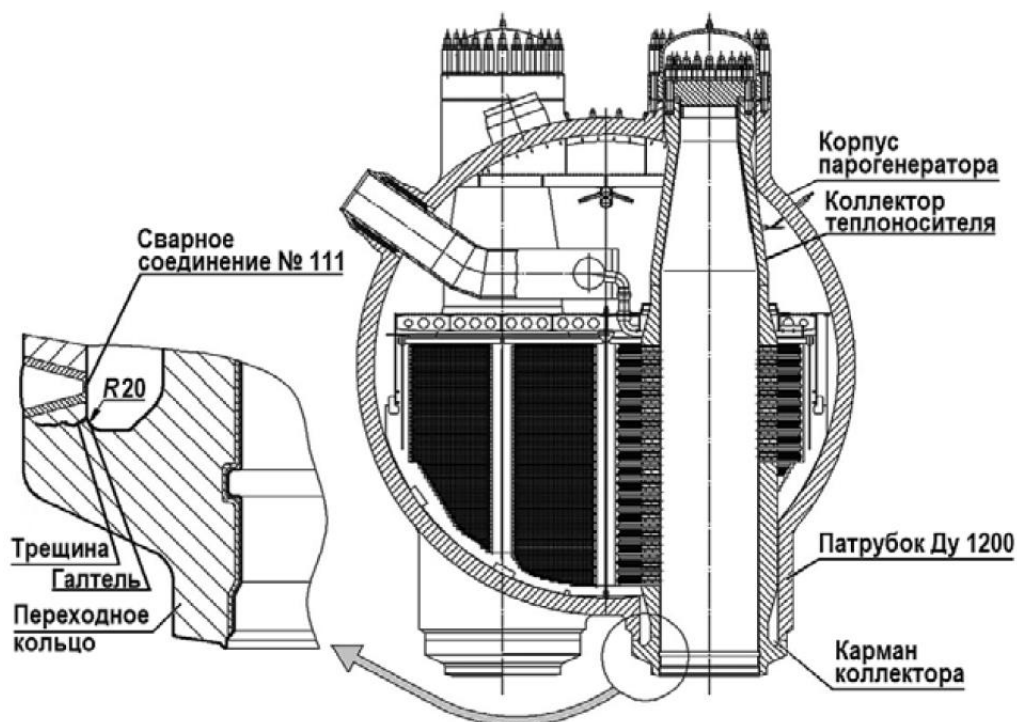


Рис. 1. Парогенератор ПГВ-1000М

Отвод шлама из «карманов» парогенератора осуществляется системой продувки и дренажей ПГ. Продувка представляет собой вывод из корпуса парогенератора некоторого количества котловой воды, ее очистка и возврат обратно в цикл.

Продувка «карманов» парогенератора осуществляется через штуцера, соединенные с патрубками Ду32, которые соединяются в коллектор продувки «карманов» парогенератора – рисунок 2.

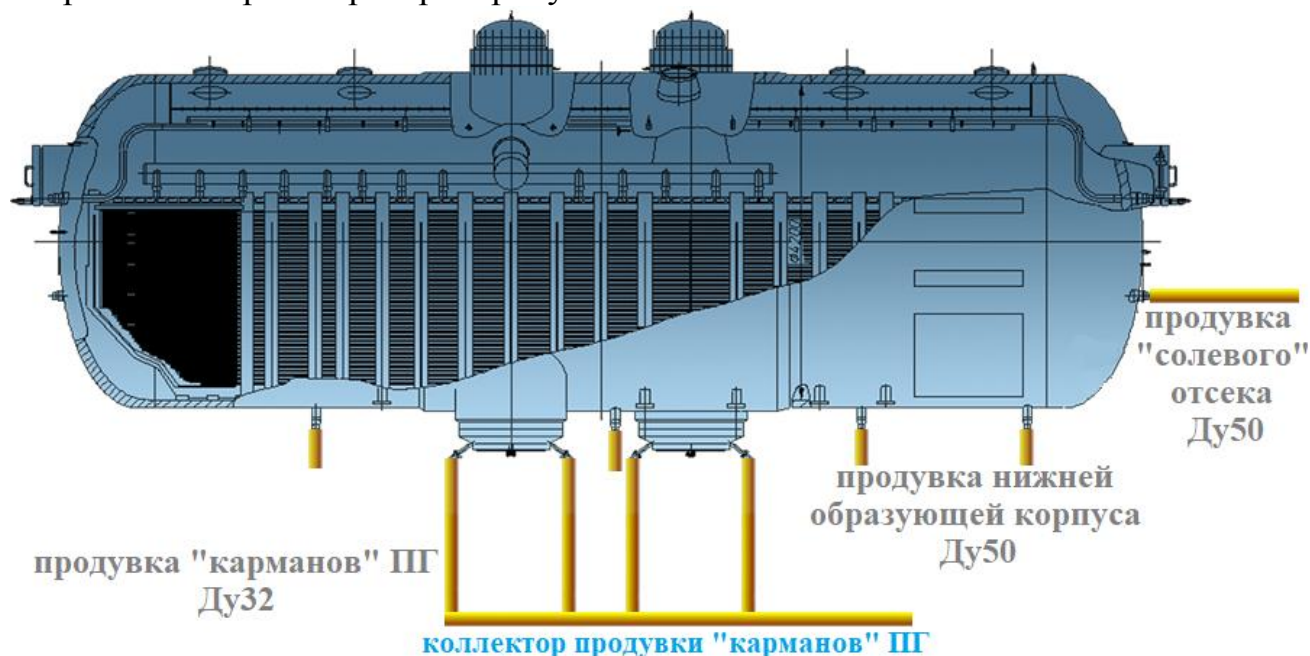


Рис. 2. Схема отвода продувочной воды от парогенератора ПГВ-1000М

Был смоделирован коллектор продувки «карманов» ПГ и произведен его гидравлический расчет в программной среде «Ansys CFX», который показал профиль скоростей теплоносителя внутри смоделированного коллектора.

Основным параметром расчетного анализа будет скорость течения среды (расход), так как между расходом и количеством отводимого шлама прямо пропорциональная зависимость.

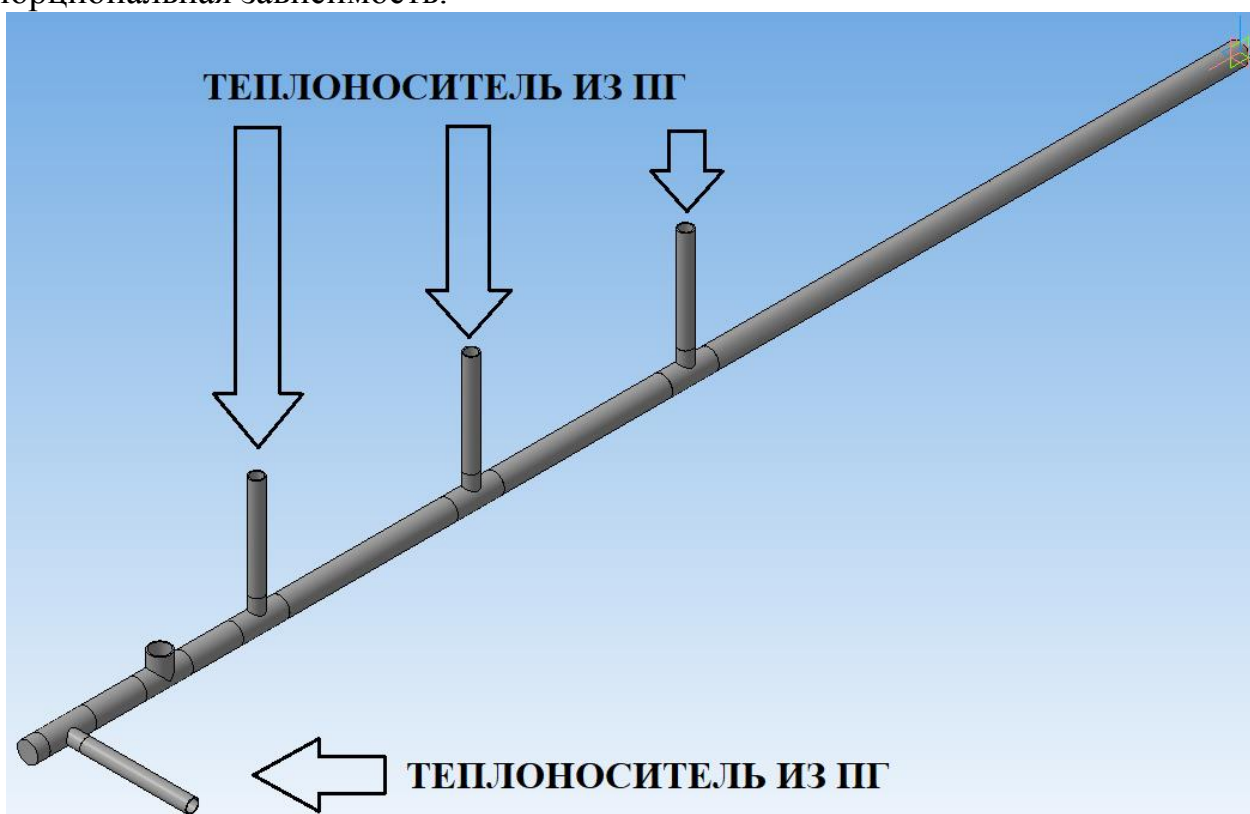


Рис. 3. 3D модель коллектора «карманов» парогенератора

Расчет будет производиться на основной режим работы системы, и в качестве исходных параметров среды использовались параметры в парогенераторе.

При расчете учитывались потери давления в трубопроводах от штуцеров коллекторов парогенератора до коллектора продувки «карманов» парогенератора.

Параметры к расчету: температура среды - $T = 285^{\circ}\text{C}$; давление на входе в трубки коллектора - $P = 6,997 \text{ МПа}$; суммарный расход через коллектор - $G = 1,03 \text{ кг / с}$; плотность среды - $\rho = 741,4 \text{ кг / м}^3$; трение учитывается, тепловые потери не учитываются.

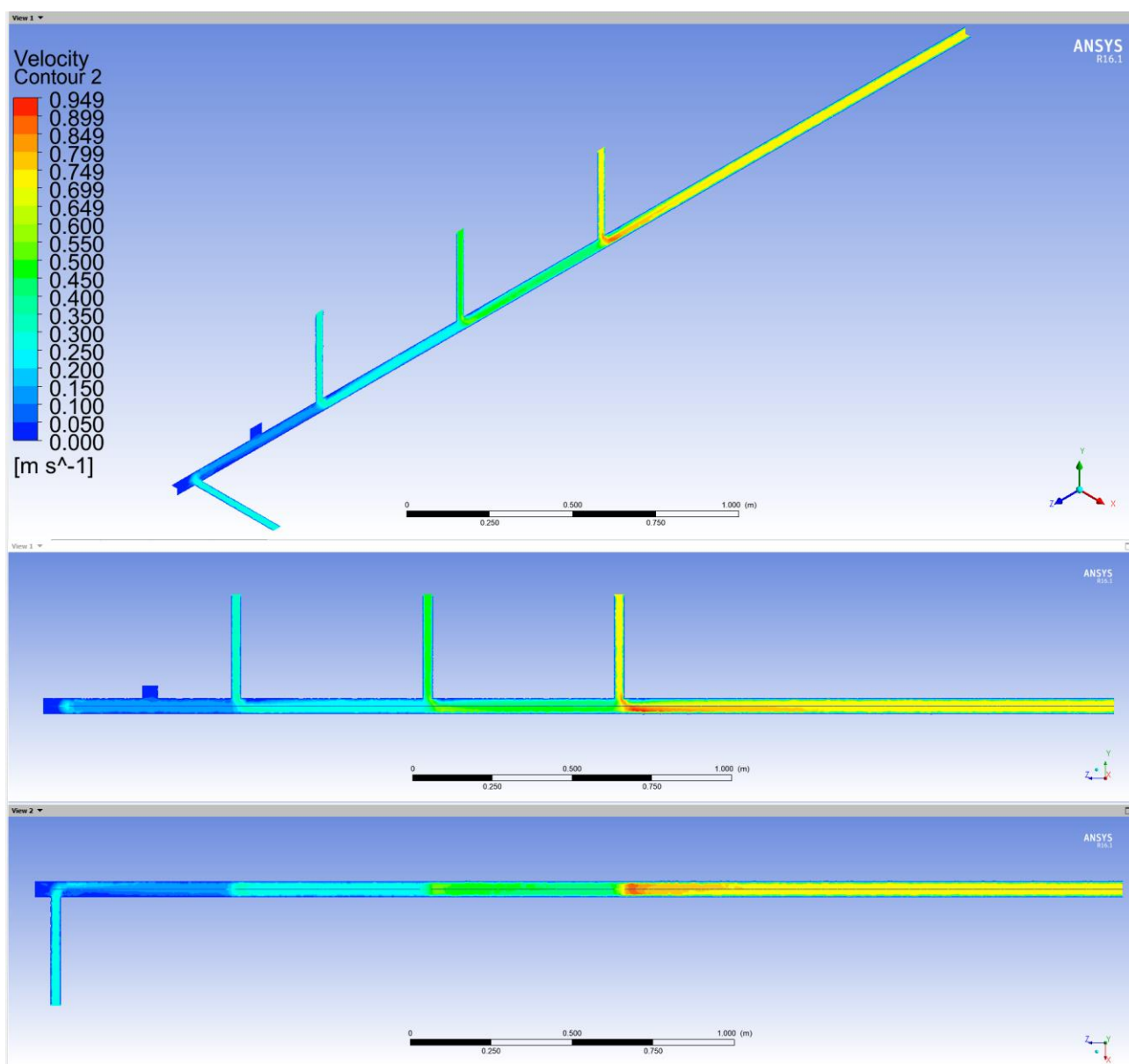


Рис. 4. Визуализация гидравлического расчета коллектора продувки

Представим полученные значения средних скоростей в каждом патрубке на графике – рисунок 5.



Рис. 5. График распределение средних скоростей по патрубкам коллектора продувки «карманов» парогенератора

Гидравлический расчет показал, что профиль скоростей по коллектору является неравномерным, что, в свою очередь, приводит к неравномерному отводу шлама из «карманов» ПГ.

Выводы

1. В ходе эксплуатации возникают реальные риски появления дефектов на сварных швах №111 парогенераторов из-за отложений оксидов меди и железа.
2. В существующей конструкции происходит неравномерный отвод шлама, что ухудшает эффективность продувки «карманов» парогенератора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.П. Поваров - Анализ поврежденных сварных швов №111 ПГВ-1000 и предложения по их устранению.
2. РЭА - ежемесячный журнал атомной энергетики России №022016 г.
3. Харченко С.А., Трунов Н.Б., Денисов В.В., Коротаев Н.Ф. Анализ причин повреждения металла в зоне сварного шва №111 парогенераторов ПГВ-1000М. ФГУП ОКБ «Гидропресс» Подольск.

Научный руководитель: А.В. Воробьев, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ФОРМЫ РАЗРЯДНЫХ ЯВЛЕНИЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Т.Н. Круглова¹, Н.Н. Работалов², М.А. Мельников²

¹Южно-Российский государственный политехнический университет(НПИ)
имени М.И. Платова

²ОО «Высоковольтные измерительные комплексы и системы» г. Балаково

В процессе длительной эксплуатации генерирующего электрооборудования могут возникнуть различного рода дефекты, которые приводят к его отказам и длительным простоям, что влечет за собой серьезные финансовые потери. Избежать их можно с помощью методов функционального диагностирования, позволяющих своевременно определить технические состояния и предотвратить критический отказ оборудования [1]. Для электрических машин основным методом оценки реального технического состояния служит контроль изоляции [2]. В основе метода лежит многоразовый контроль или регистрация на рабочем напряжении основных характерных параметров изоляции и по полученным результатам судят, как о степени повреждения изоляции обмотки, состоянии корпусной изоляции и магниторовода. Основным этапом анализа состояния изоляции является оценка формы электроразрядных явлений [3], которая позволяет однозначно определить возникшую неисправность. Накопленный многолетний опыт ООО «ДИАКС» и ООО «ВИКС» позволил составить перечень типичных характерных электроразрядной активности. К ним относятся: частичный разряд (рис 1,а, пазовый разряд (рис.1.б), искра, дуга и т.д.[3].

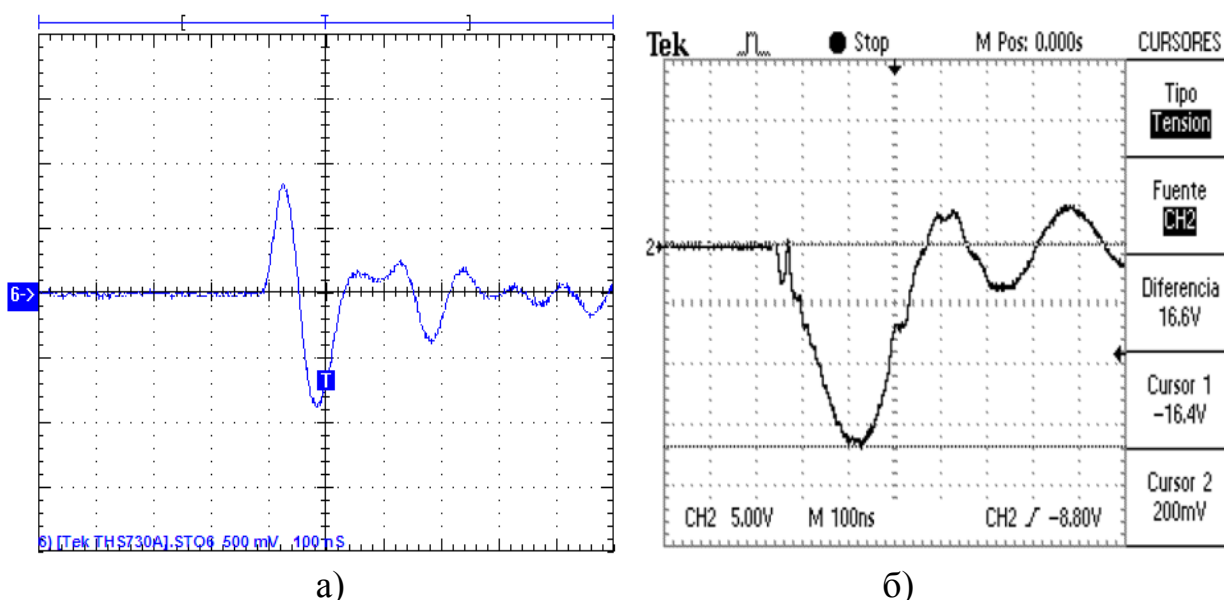


Рис. 1. Примеры характерных осциллограмм электроразрядной активности турбогенератора. а) частичный разряд, б) пазовый разряд

Анализ таких осциллограмм совместно с другими параметрами выполняется вручную, что требует большое количество квалифицированных экспертов. Упростить данный процесс позволит применение нейронных сетей, выполняющих задачу классификации. В качестве входа задается матрица, содержащая

основные характерные сигналы электроразрядной активности (рис.1), а также сигнал без неисправности. Выходом сети является класс диагноза условно принятый для каждого вида сигнала. Сеть для классификации имеет структуру, приведенную на рис.2

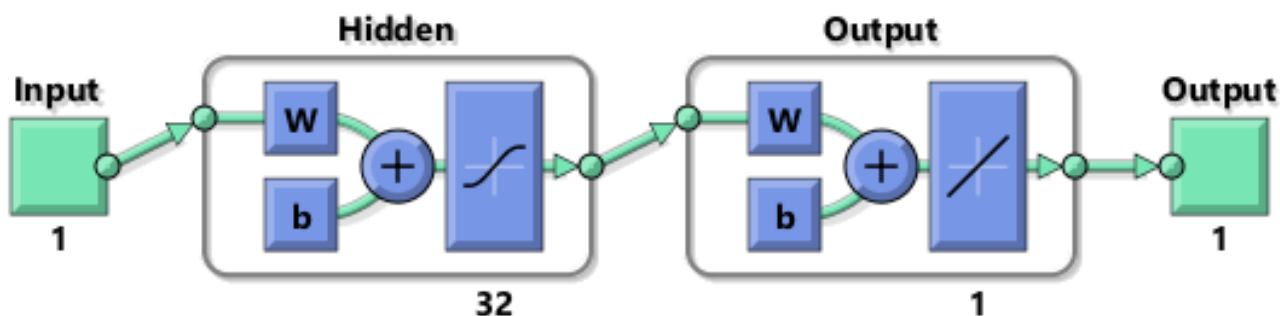


Рис. 2 Структура нейронной сети классификации сигналов

Сеть содержит два слоя: скрытый и выходной. Скрытый слой имеет тридцать два нейрона с тангенциальной функцией активации, выходной – один линейный нейрон.

Для обучения нейронной сети (рис 3) использован алгоритм Левенберга-Марквардта [4,5], предназначенный для оптимизации параметров нелинейных регрессионных моделей.

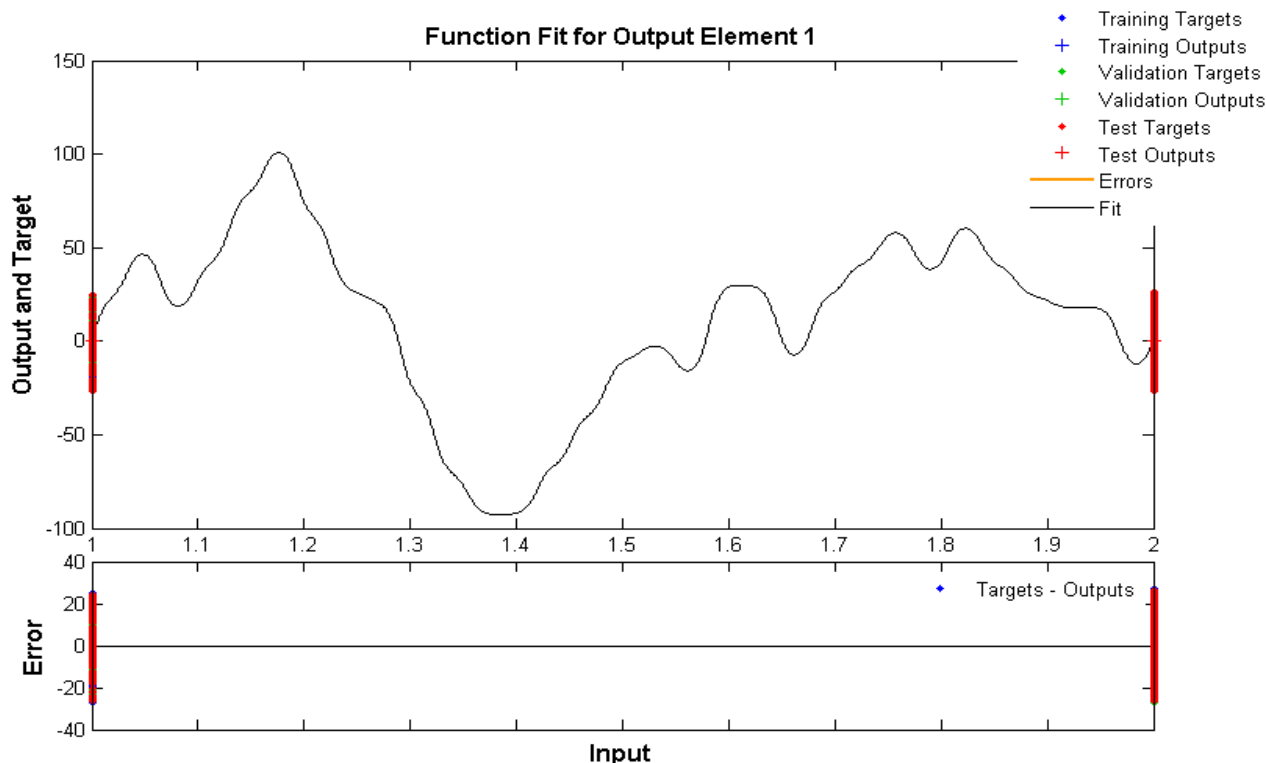


Рис. 3. Результат обучения нейронной сети

Для тестирования обученной сети, на вход поочередно были поданы образцы обучающей выборки, и сеть безошибочно отнесла их к заданному классу. Далее, на вход нейросети были поданы различные сигналы электроразрядной активности, снятые с реальных турбогенераторов, и сеть безошибочно определила класс неисправностей. Это свидетельствует о работоспособности сети ее эффективной работе.

Применение нейронных сетей для анализа формы разрядных явлений турбогенератора позволят существенно повысить качество их диагноза и является предпосылкой к созданию автоматизированной системы многопараметрического технического диагностирования технического состояния турбогенераторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Круглова Т.Н., Коваленко В.С. Нейро-нечеткая модель диагностирования технического состояния турбогенератора // Интеллектуальные энергосистемы: материалы III Междунар. молодеж. форума, г. Томск, 28 сент.-2 окт. 2015 г. : в 3 т. / Томск. политехн. ун-т. - Томск, 2015. - Т. 3. - С. 27-30.
2. Ю.П. Аксенов, И.В. Ярошенко Комплексная диагностика турбогенераторов // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. - 2006. - № 2. - С. 21-24
3. РД ЭО 018700 «Методических рекомендациях по диагностике изоляции статорных обмоток вращающихся машин классов напряжения 3,15-24 кВ по характеристикам частичных разрядов», принятых для концерна «Росэнергоатом». М. МРФ по АЭ. 1999 г.
4. Sousa C. Neural network learning by the levenberg-marquardt algorithm with Bayesian regularization (part 1). – 2009. – URL: [http:// crsouza.blogspot.com/2009/11/neural-networklearning-by-levenberg_18.html](http://crs Souza.blogspot.com/2009/11/neural-networklearning-by-levenberg_18.html).
5. Sousa C. Neural network learning by the levenberg-marquardt algorithm with Bayesian regularization (part 2). – 2009. – URL: [http:// crsouza.blogspot.com/2009/11/neural-networklearning-by-levenberg.html](http://crs Souza.blogspot.com/2009/11/neural-networklearning-by-levenberg.html)

Научный руководитель: Т.Н. Круглова, к.т.н., доцент, кафедра Мехатроника и гидропневмоавтоматика, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

Д.А. Орёл, А.В. Варганова

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

В статье рассмотрены вопросы решения оптимизационных задач в условиях объектов электроэнергетики. Приведены основные работы, посвященные оптимизации и расчету установившихся режимов систем электроснабжения и электроэнергетических систем.

Ключевые слова: оптимизация, электроэнергетическая система, система электроснабжения, электростанция, эксплуатационный режим.

Важной задачей в области электроэнергетики является оптимизация режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС) и сетей.

Согласно [1] в работе оперативно-диспетчерских служб важное место занимают задачи оптимизации режимов энергосистем и энергообъединений. Большое внимание уделяется рассмотрению таких задач, как наивыгоднейшее распределение нагрузок между параллельно работающими энергоустановками и выбор состава включенного в работу оборудования. Создание Единой энергосистемы и масштабное развитие электроэнергетики страны сильно усложнили задачи её управления. И как следствие вся структура оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) была создана на основе использования методов декомпозиции. Для снижения общей трудоемкости решения задачи делятся на оптимизацию режима по активным мощностям при упрощенном учете электрической сети и оптимизацию режима по реактивным мощностям.

Существуют ограничения для решения различных оптимизационных задач. Например, ограничения по предельным мощностям генераторных групп, по скоростям изменения их мощностей, по предельным перетокам мощности по воздушным линиям (ВЛ), по заданным выработкам энергии за периоды лимитируемых энергообъектов и др.

Также сложность оптимизационных задач отмечена в работе [2], в которой говорится об усиливающемся стремлении к экономии материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Важной причиной постепенного усложнения оптимизационных задач является усложнение постановки задачи с учетом дополнительных факторов, что приводит к повышению абсолютного эффекта, получаемого при реализации наилучшего решения.

Для решения задач электроэнергетики важную роль играет эффективность управления режимами электроэнергетических систем. Это подчеркивают в своей статье [3] Макоклюев Б.И. и Костиков В.Н. Планирование и управление производится на основе прогноза графиков нагрузки. Ошибки прогнозирования проявляются в увеличении затрат на топливо, а точность нагрузок в узлах схемы определяет качество последующих режимных расчетов и влияет на экономичность и надежность режимов ЭЭС.

В статье [4] говорится о динамических задачах, в которых соотношение экономических показателей разных стратегий развития системы не является достаточным критерием для выбора наилучшей стратегии. Решение таких задач требует использования ЭВМ и современных вычислительных методов на основе динамических математических моделей развития ЭЭС.

Для решения задач по оптимизации ЭЭС стали применять методы математического программирования. К ним относятся методы линейного и квадратичного программирования, градиентно-проекционные и градиентные со штрафными функциями. Используются методы динамического программирования и ветвей и границ для отдельных многоэкстремальных задач. Во многих журналах описываются данные методы. Так в [5] описывается оптимизация структуры объединенной ЭЭС с применением метода декомпозиции, который позволяет минимизировать требуемую память ЭВМ и время расчета.

В [6] и [7] описывается методика эквивалентирования электрических сетей, которая применяется в системе диспетчерского управления энергосистемами при обработке контрольных замеров. Данная методика может использо-

ваться для расчетов установившихся и переходных режимов. Для таких расчетов необходимо использовать эквивалентирование с сохранением потерь мощности в эквивалентной сети, а для расчетов переходных процессов необходимо применение электромеханического эквивалентирования. Но данные программы не нашли широкого применения.

Управление тепловой электрической станцией невозможно без контроля её показателей и оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок. Поэтому для разработки программы распределения нагрузок ТЭЦ используют градиентный метод, освещенный в статье [8]. Данный метод заключается в том, что все элементы тепловой схемы ТЭЦ описываются как самостоятельные объекты, которые имеют набор параметров и методов их расчета. Так, создав обобщенную модель объекта, создается множество конкретных моделей со своими индивидуальными параметрами. Это позволяет упростить разработку модели ТЭЦ и программы распределения её тепловых и электрических нагрузок. Кроме того, особое внимание уделяется вопросам источникам распределенной генерации [9]

Чтобы решить задачи оптимизации часовых режимов работы были выбраны методы линейного программирования (ЛП). В статье [10] говорится, что методы ЛП являются достаточно быстрыми, эффективными и надежными. Из-за того, что при учете ограничений используются многократные решения часовых задач, то надежность данных методов становится важнее погрешности, которая вносится из-за приведения нелинейной целевой функции к линейному виду. Так же для решения задач оптимального управления электростанциями применяется метод динамического программирования [11-13].

Использование методов теории линейных равенств для оптимизации режима напряжения распределительной сети системы электроснабжения, рассмотренных в статье [14], широко применяется на этапе разработки для городских и сельских распределительных сетей, у которых потребители имеют достаточно небольшую нагрузку, но рассоложены на значительной территории. Эти методы позволяют провести анализ системы обеспечения качества напряжения, получить математическую модель достаточной достоверности, обеспечить существенное повышение качества напряжения у потребителей.

Таким образом, правильная постановка оптимизационной задачи, правильный выбор метода оптимизации и набора ограничений, могут значительно улучшить работу исследуемых объектов электроэнергетики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алябышева, Т.М. О методах оптимизации режимов энергосистем и энергообъединений / Т.М. Алябышева, Ю.И. Моржин, Т.Н. Протопопова, Е.В. Цветков; Электрические станции, 2005. — №1. — С. 9-12.
2. Будзко, И.А. Особенности оптимизационных задач энергетики и методов их решения / И.А. Будзко, М.С. Левин; Электричество, 1981. — №3. — С. 1-6.

3. Макоклюев, Б.И. Моделирование электрических нагрузок электроэнергетических систем / Б.И. Макоклюев, В.Н. Костиков; Электричество, 1994. — №10. — С. 13-16.
4. Дале, В.А. Математические модели оптимизации развития сетей электрических энергетических сетей / В.А. Дале, З.П. Кришан, О.Г. Паэгле; Электричество, 1987. — №9. — С. 1-6.
5. Хачатрян, В.С. Оптимизация структуры объединенной электроэнергетической системы с применением метода декомпозиции / В.С. Хачатрян, А.В. Темурджян; Электричество, 1983. — №8. — С. 8-13.
6. Гончарюк, И.А. Методика эквивалентирования электрической сети / И.А. Гончарюк; Электричество, 2000. — №8. — С. 11-17.
7. Игуменцев, В.А. Расчет установившегося режима системы электрообеспечения промышленного предприятия методом последовательного эквивалентирования / В.А. Игуменцев, И.А. Саламатов, Ю.П. Коваленко; Электричество, 1986. — №4. — С. 1-4.
8. Галашов, Н.Н. Оптимальное распределение тепловых и электрических нагрузок. Градиентный метод / Н.Н. Галашов, П.В. Новик, С.Ю. Кузьмин; Электрические станции, 2009. — №3. — С. 1-4.
9. Варганов Д.Е., Варганова А.В., Баранкова И.И. Применение экономико-математических моделей газопоршневых установок с целью повышения эффективности работы энергоузлов с источниками распределенной генерации // Электротехнические системы и комплексы. - 2016. - № 4 (33). - С. 29-34.
10. Абакшин, П.С. Модель оптимизации долгосрочных энергетических режимов ЕЭС России по активной мощности / П.С. Абакшин; Электрические станции, 2004. — №3. — С. 58-62.
11. Кочкина А.В., Варганов Д.Е., Ковалев А.Д., Малафеев А.В. Оптимизация распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками в системе электроснабжения промышленного предприятия // Электроэнергетика глазами молодежи III Международная научно-техническая конференция: сборник докладов. - 2012. - С. 280-284.
12. Малафеев, А.В. Оптимизация режимов промышленных электростанций с учетом зависимых ограничений по условиям статической устойчивости и длительной несимметрии: монография / А.В. Малафеев, А.В. Кочкина, О.В. Газизова, Е.А. Панова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. - 119 с.
13. Varganova A.V., Panova E.A., Kurilova N.A., Nasibullin A.T. Mathematical modeling of synchronous generators in out-of-balance conditions in the task of electric power supply systems optimization // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). 2015.
14. Чмутов, А.П. Оптимизация режима напряжения в электрических распределительных сетях с использованием методов теории линейных не-

равенств / А.П. Чмутов ; Электрические станции, 1991. — №3. — С. 62-66.

Научный руководитель: А.В. Варганова, к.т.н., доцент ЭиАС МГТУ им. Г.И. Носова.

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Ю.М. Байрамгулова, И.Н. Гончарова, А.В. Варганова
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Приведен подход по определению чувствительности алгоритма оптимизации режимов работы промышленных электростанций методом двухсторонней интервальной оценки. При расчетах использовалась величина суммарных затрат на прием, выработку и передачу электроэнергии в энергоузле крупного предприятия.

Ключевые слова: генератор, метод динамического программирования, электрическая нагрузка, электростанция, метод двухсторонней интервальной оценки.

Одним из способов повышения экономичности работы промышленных систем электроснабжения с собственными электростанциями является определение оптимальных нагрузок генераторов и величины приема мощности из системы. На кафедре электроснабжения промышленных предприятий разрабатывается программный модуль «Оптимизация по активной мощности», алгоритм которого основан на методе динамического программирования [1-2]. Основными исходными данными для расчета являются технико-экономические модели генераторов [3], если в качестве источников используются газопоршневые установки, то при построении моделей используется подход, описанный в [4]. Для построения моделей необходима разработана методика расчета себестоимости острого пара [5]. Кроме того, алгоритм оптимизации позволяет учитывать ограничения по работе генераторов в несимметричных режимах [6].

При расчетах представлял интерес оценки чувствительности разработанного алгоритма.

Чувствительность алгоритма оптимизации оценивалась методом двухсторонних интервальных оценок. Расчет проводился для системы электроснабжения с суммарной нагрузкой 630 МВт, собственным производством в 450 МВт и приемом из системы 85 МВт (5 МВт потери мощности в сети). В качестве исследуемого параметра принята величина суммарных затрат на прием, передачу и выработку электрической энергии в рассматриваемой системе электроснабжения при изменении нагрузки узла ($\Delta S_{\text{нагр}}$) на 5 МВт в интервале от минус 30 МВт до плюс 30 МВт.

Для оценки чувствительности необходимо по (1) определить разницу между затратами текущего значения и следующего за ним:

$$\Delta Z = |\Sigma Z_i - \Sigma Z_{i\pm 1}|, \quad (1)$$

где $\Sigma Z_i, \Sigma Z_{i\pm 1}$ - текущее и следующее значение суммарных затрат.

Перевести полученную разницу в проценты по (2) и определить чувствительность по (3).

$$\Delta Z_{\%} = \left| 100 - \frac{|\Sigma Z_i - \Sigma Z_{i\pm 1}|}{\Sigma Z_i} \cdot 100 \right|, \quad (2)$$

$$\delta = |\Delta Z_i - \Delta Z_{i\pm 1}|, \quad (3)$$

Алгоритм оптимизации считается устойчивым, если погрешность вычислений на каждом шаге расчета не будет превышать 5%. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Табл. 1. Оценка чувствительности полученных результатов

i	P _{сист} , МВт	ΣZ, тыс. руб./ч	ΔZ, тыс. руб./ч	ΔZ _% , %	δ, %
-30	605	1066535,47	7321,31	0,69	1,37
-25	610	1073856,78	7314,77	0,68	1,36
-20	615	1081171,55	7319,54	0,68	1,35
-15	620	1088491,09	7312,81	0,66	1,34
-10	625	1095803,90	7316,80	0,66	1,33
-5	630	1103120,70	7317,27	0,67	1,32
0	635	1110437,97	7315,08	0,66	1,25
5	640	1117753,05	6618,95	0,59	1,30
10	645	1124372,00	8010,57	0,71	1,36
15	650	1132382,57	7306,69	0,65	1,29
20	655	1139689,25	7313,17	0,64	1,28
25	660	1147002,43	7311,13	0,64	0,64
30	665	1154313,55	1154313,60	0,64	0,64

Чтобы визуально определить влияние изменения параметров сети на величину суммарных затрат построена лепестковая диаграмма, отражающая взаимное расположение допустимого и расчетного значения δ (рис. 1).

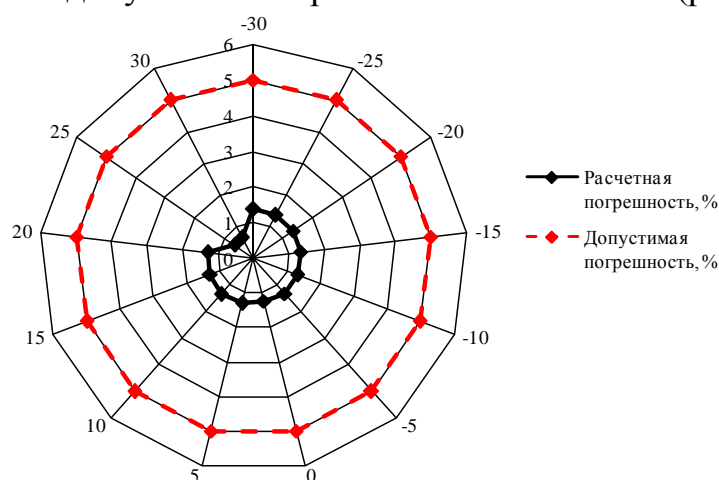


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения экономически целесообразных сечений проводников

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработанные алгоритмы оптимизации являются устойчивыми к изменению параметров расчетной схемы, а погрешность расчета составляет не более 1,4% что меньше 5% допустимых.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кочкина А.В., Варганов Д.Е., Ковалев А.Д., Малафеев А.В. Оптимизация распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками в системе электроснабжения промышленного предприятия // Электроэнергетика глазами молодежи III Международная научно-техническая конференция: сборник докладов. - 2012. - С. 280-284.
2. Малафеев, А.В. Оптимизация режимов промышленных электростанций с учетом зависимых ограничений по условиям статической устойчивости и длительной несимметрии: монография / А.В. Малафеев, А.В. Кочкина, О.В. Газизова, Е.А. Панова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. - 119 с.
3. Кочкина А.В., Малафеев А.В., Курилова Н.А., Нетупский Р.П. Построение технико-экономических моделей турбогенераторов и котлоагрегатов собственных электростанций промышленных предприятий // Электротехнические системы и комплексы. - 2013. - N 21. - С. 247-252.
4. Варганов Д.Е., Варганова А.В., Баранкова И.И. Применение экономико-математических моделей газопоршневых установок с целью повышения эффективности работы энергоузлов с источниками распределенной генерации // Электротехнические системы и комплексы. - 2016. - № 4 (33). - С. 29-34.
5. Варганов Д.Е., Варганова А.В. Расчет себестоимости свежего пара на крупных тепловых промышленных электростанциях // Электротехнические системы и комплексы. - 2016. - N 1 (30). - С. 24-28.
6. Varganova A.V., Panova E.A., Kurilova N.A., Nasibullin A.T. Mathematical modeling of synchronous generators in out-of-balance conditions in the task of electric power supply systems optimization // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). 2015.

Научный руководитель: А.В. Варганова, к.т.н., доцент ИЭиАС МГТУ им. Г.И. Носова.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ТОМСКОЙ ТЭЦ – 3

М.О. Чубаров, А.Г. Коротких
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС

Введение

Регенеративный подогрев основного конденсата и питательной воды является одним из важнейших методов повышения экономичности современных ТЭС. При этом под основным конденсатом понимается поток конденсата рабочего пара от конденсатора до деаэратора, а под питательной водой – поток от деаэратора до котла (парогенератора).

Регенеративный подогрев осуществляется отбором пара из турбины за счет его охлаждения и конденсации. Выделенная теплота фазового перехода возвращается в паровой котел за счет нагрева основного конденсата и питательной воды. В зависимости от начальных параметров и количества отбора пара на регенерацию относительное повышение КПД турбоустановки за счет регенерации составляет от 7 до 15%, что сопоставимо с эффектом, получаемым от повышения начальных параметров пара перед турбиной.

Регенерацию можно рассматривать как процесс комбинированной выработки энергии с внутренним потреблением теплоты водяного пара, отбираемого из турбины. Регенеративный подогрев воды снижает потери теплоты с отработавшим паром в конденсаторе турбины за счет уменьшения его расхода.

При эксплуатации подогревателей высокого давления (ПВД) энергоблока мощностью 140 МВт Томской ТЭЦ-3 наблюдается эрозионный износ и повреждения внутрикорпусных деталей, а именно спиральных трубок поверхностей нагрева. Основной проблемой при ремонте ПВД на станции является проведение сложных технологических мероприятий, связанных с невозможностью доступа без вскрытия корпуса подогревателя, что в свою очередь, приводит к существенным материальным затратам и увеличивает сроки проведения ремонта.

В качестве объекта исследования был выбран подогреватель марки ПВ-800-230-21, технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Табл. 1. Технические характеристики ПВ-800-230-21.

Наименование	Тип	Диспетчер. наименование	Технические характеристики	Завод-изготовитель
Подогреватель высокого давления № 6	ПВ-800-230-21	ПВД-6	$S=800\text{м}^2$, $Q=850\text{т/ч}$, $p_{\text{п}}=23,2\text{ кгс/см}^2$, $p_{\text{в}}=230\text{кгс/см}^2$, $V_{\text{п}}=22,0\text{м}^3$, $t_{\text{п}}=325^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{в}}=5,3\text{м}^3$, $t_{\text{в}}=214,8^{\circ}\text{C}$.	"Красный котельщик" г. Таганрог.

Здесь S – площадь поверхности теплообмена; Q – номинальный массовый расход питательной воды; $p_{\text{п}}$ – рабочее давление пара в корпусе; $p_{\text{в}}$ – рабочее

давление воды в трубной системе; $V_{\text{п}}$ – номинальный объем пара в корпусе подогревателя; $t_{\text{п}}$ – номинальная температура греющего пара; $V_{\text{в}}$ – номинальный объем питательной воды в трубной системе; $t_{\text{в}}$ – номинальная температура питательной воды на выходе из подогревателя.

Целью данной работы являлось проведение анализа проблем эксплуатации ПВД на ТЭЦ-3 и выявление возможных путей их решения с увеличением эффективности теплообмена.

Анализ ремонтных работ и технической документации лаборатории металлов Томской ТЭЦ-3 показал, что наибольшему эрозионному износу подвергаются спиральные трубы в зоне охладителя конденсата (ОК) и собственно подогревателя (СП) на участке 200–300 мм от места приварки к подводящим и отводящим коллекторам питательной воды. Во время проведения капитального ремонта подогревателя в 2016 году были заменены 160 змеевиков (35,1%), из 456 установленных заводом-изготовителем (табл. 2). Также, после завершения капитального ремонта и ввода в эксплуатацию ПВД, произошло образование свищей в мембранном соединении подогревателя. Что, в свою очередь, еще раз подтверждает трудоемкость и повышенную ответственность при проведении ремонтных и пусконаладочных работ.

Табл. 2. Результаты планового ремонта.

Наименование работ		2016 год
Количество змеевиков, шт.	Всего	456
	ОП	48
	СП	372
	ОК	36
Количество замененных змеевиков, шт.		160
Количество рабочих змеевиков, шт.		456
Причина отключения		Плановый ремонт

Анализ патентов на изобретения показал, что существуют разработки, позволяющие внести изменения в конструкцию ПВД коллекторно-спирального типа. В работе [1] представлено изобретение, которое может быть использовано в системах регенерации тепла турбоустановок тепловых и атомных электростанций при разработке компоновки трубных систем коллекторных ПВД, содержащих спиральные змеевики. Система содержит равномерно размещенные в приближении к периферии внутреннего пространства корпуса подогревателя одноплоскостные спиральные змеевики, присоединение которых к коллекторам ориентировано в направлении к центральной его части. Данная компоновка трубной системы позволяет организовать доступ к соединениям коллектора со змеевиками без демонтажа верхней части корпуса подогревателя и разборки мембранного фланцевого соединения (рис.1).

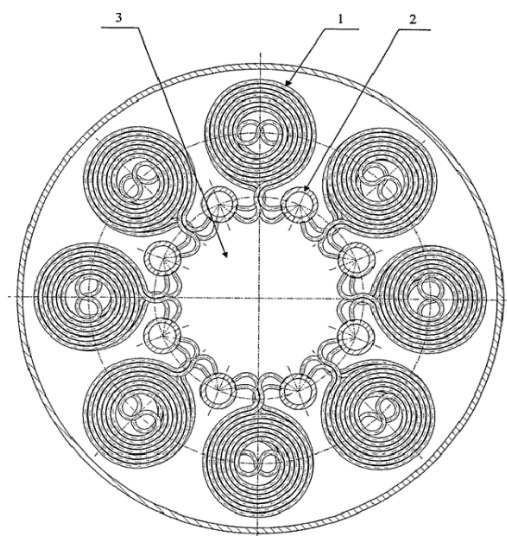


Рис. 1. Трубная система коллекторного подогревателя высокого давления:
1 – одноплоскостные спиральные змеевики; 2 – входные и выходные коллекторы; 3 – свободное пространство корпуса $d=750$ мм.

Также известна трубная система коллекторного подогревателя высокого давления [1], содержащая коллекторы и двуспиральные змеевики в виде «капли», равномерно расположенные во внутреннем пространстве корпуса подогревателя. Круглые спирали «капли» соединены между собой с образованием концов труб, присоединенным к входному и выходному коллекторам. Круглые спирали большего диаметра, а также размещенные между ними входные и выходные коллекторы расположены в приближении к периферии внутреннего пространства корпуса подогревателя, спирали меньшего диаметра ориентированы в направлении к центральной его части (рис.2).

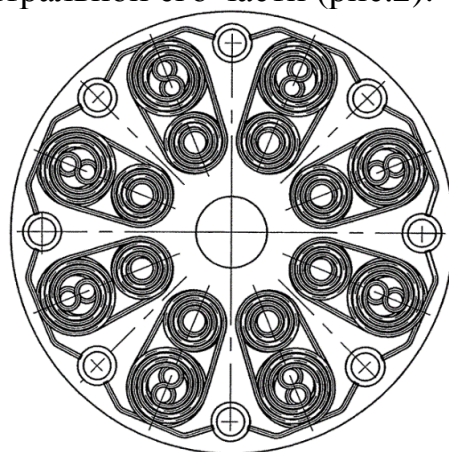


Рис. 2. Система ПВД, содержащая коллекторы и двуспиральные змеевики в виде «капли».

Существует трубная система коллекторного ПВД, содержащая чередующиеся между собой двуспиральные и односпиральные змеевики, концы которых присоединены к входному и выходному коллекторам, размещенным между спиралями [1]. Односпиральные змеевики, одна из спиралей двуспиральных змеевиков, а также размещенные в промежутках между ними входные и выходные коллекторы расположены в приближении к периферии внутреннего пространства корпуса подогревателя, другая спираль двуспиральных змеевиков ориентирована в направлении к центральной его части (рис.3).

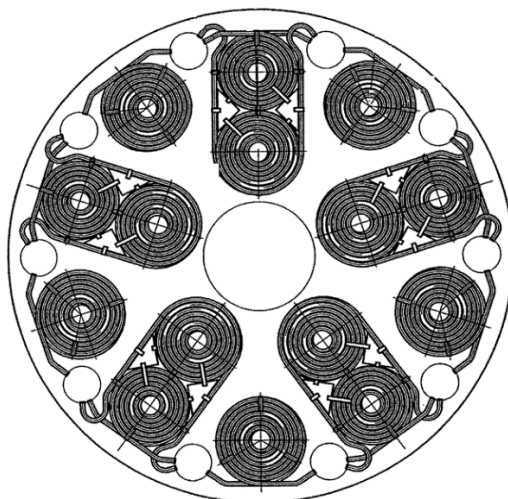


Рис. 3. Система коллекторного ПВД, содержащая чередующиеся между собой двуспиральные и односпиральные змеевики.

Заключение

Проведенный анализ проблем эксплуатации ПВД на ТЭЦ-3 определил основные неисправности подогревателей, которые возникают при их эксплуатации. На основе опыта проводимых ремонтных работ на станции и анализа разработок предложены пути их решения с возможным увеличением срока эксплуатации и эффективности теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Описание изобретения к патенту №2500966 С1, Нагорнов Николай Александрович (RU), Марушкин Виктор Михайлович (RU), патенто-обладатель Закрытое акционерное общество "СУЗМК ЭНЕРГО" (RU).
2. Анализ и выбор конструкции ПВД для АЭС нового поколения с реакторной установкой БН – 1200 / А.Ю. Юрченко, Ю.Г. Сухоруков, Н. Н. Трифонов // Теплоэнергетика. 2016. № 9. с. 36 – 43.
3. Марушкин В.М., Иващенко С.С., Вакуленко Б.Ф. Подогреватели высокого давления ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Отраслевой каталог «Теплообменное оборудование паротурбинных установок», Москва, 1989 г., часть 2, 20 – 89 – 09. стр.8 – 29.
5. Турбина паровая ПТ–140/165–130/15–3 Инструкция по эксплуатации «ИЭ 02 – 06», - 82 с.
6. Методические указания по эксплуатации поверхностных подогревателей турбоустановок ТЭС и АС РД 34.40.508-85. стр.21п.2.2.6.
7. Проспект группа компаний «КРАСНЫЙ КОТЕЛЬЩИК», 2005г.

Научный руководитель: А.Г. Коротких, д.ф.-м.н., профессор каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И АВАРИЙНОГО УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ГЕРМООБЪЕМЕ ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРОМ ТИПА ВВЭР

К.В. Митряева

Томский политехнический университет

ЭНИН, АТЭС, группа 5031

Введение

При нормальной эксплуатации водород всегда присутствует в теплоносителе первого контура реакторной установки вследствие радиолиза, термолиза и других технологических процессов. Поэтому проблема обоснования водородной взрывобезопасности является актуальной и для условий нормальной эксплуатации, что подтверждается нарушениями, отмеченными на российских и зарубежных водоохлаждаемых энергоблоках, где были зафиксированы возгорания гремучей смеси в коллекторах парогенераторов и «хлопки» гремучей смеси под крышкой реактора при нахождении РУ в «холодном» состоянии [1].

Назначение СКАУВ

Система контроля концентрации и аварийного удаления водорода в ГО предназначена для предотвращения образования взрывоопасных смесей путем поддержания объемной концентрации водорода в смеси ниже критериев безопасности, характеризуемых установленными проектными пределами в условиях проектных и запроектных аварий, а также обеспечивает контроль состава газовых сред в ГО.

Состав СКАУВ

Система контроля концентрации и аварийного удаления водорода в ГО (СКАУВ) состоит из системы аварийного удаления водорода (ПКРВ) в ГО и системы контроля концентрации водорода в ГО (СККВ).

В системе аварийного удаления водорода, обеспечивающей водородную взрывобезопасность в помещениях ГО, применяются пассивные каталитические рекомбинаторы водорода (ПКРВ), которые располагаются в местах возможного скопления водорода, что позволяет выполнять заданную функцию при любом состоянии атмосферы в ГО, при этом перемешивание среды с целью создания однородной атмосферы не требуется.

Система аварийного удаления водорода является пассивной системой безопасности и функционирует независимо от каких-либо управляющих воздействий.

Система аварийного удаления водорода

В системе аварийного удаления водорода, обеспечивающей водородную взрывобезопасность в помещениях ГО, применяются пассивные каталитические рекомбинаторы водорода (ПКРВ), которые располагаются в местах возможного скопления водорода, что позволяет выполнять заданную функцию при любом состоянии атмосферы в ГО, при этом перемешивание среды с целью создания однородной атмосферы не требуется.

Система аварийного удаления водорода является пассивной системой безопасности и функционирует независимо от каких-либо управляющих воздействий.

В состав системы аварийного удаления водорода входят [2]:

- комплект автономных пассивных каталитических рекомбинаторов водорода (ПКРВ);
- стенд контрольно-выборочных испытаний (КВИ) ПКРВ в период пуско-наладочных работ (ПНР) и при планово-профилактических работах (ППР) в период эксплуатации энергоблока АЭС.

Система контроля концентрации водорода и кислорода в защитной оболочке здания реактора (СККВ)

Система контроля концентрации водорода и кислорода (СККВ) в защитной оболочке здания реактора предназначена для контроля состава газовых сред с целью получения оперативной информации о параметрах газовых сред в защитной оболочке здания реактора.

СККВ содержит [2]:

- измерительные комплексы газоанализаторов водорода-кислорода (ГВК);
- газоанализатор водорода (ГВ-01);
- аппаратно-программный анализатор (АПА);
- блок отображения сигналов (БОС).

Параметры СКАУВ при нормальной эксплуатации

Система аварийного удаления водорода начинает функционировать при температуре атмосферы контайнмента не менее 20 °С, при объемной концентрации водорода не менее 0,45 %.

Принцип действия ПКРВ заключается в рекомбинации водорода и окиси углерода с кислородом воздуха на катализаторе без подвода энергии. ПКРВ вступает в работу по мере поступления водорода в помещения ГО. При попадании водорода и/или монооксида углерода на поверхность катализатора происходит рекомбинация с кислородом воздуха. При этом образуется вода и выделяется тепло, за счет которого возникает конвективный поток среды через ПКРВ, способствующий перемешиванию атмосферы в ГО [3].

Принцип действия датчика концентрации водорода основан на свойстве проводника из сплава палладий-серебро поглощать водород из анализируемой парогазовой смеси и изменять при этом свое электросопротивление. Количество поглощенного водорода пропорционально его парциальному давлению и, следовательно, объемной концентрации, а изменение электросопротивления пропорционально количеству поглощенного водорода. Таким образом, по величине изменения сопротивления, и зная давление парогазовой смеси, определяется концентрация водорода. Рабочая температура датчика поддерживается на уровне $250 \pm 1^\circ\text{C}$.

Принцип действия датчика концентрации кислорода основан на изменении э.д.с. твердоэлектролитной концентрационной гальванической ячейки в зависимости от парциального давления кислорода в парогазовой смеси. В свою

очередь парциальное давление кислорода в смеси определяет объемную концентрацию последнего. Рабочая температура датчика поддерживается на уровне 500 ± 1 °С.

Состояние водородсодержащей смеси в ГО определяется в виде точки текущего состояния паро-воздушно-водородсодержащей смеси (треугольная диаграмма Шапиро-Моффетти в координатах «концентрация пара, воздуха - концентрация водорода») [4].

Критерием безопасности при проектных авариях является состояние атмосферы в ГО, определенное вне области В (вне «полуострова» дефлаграции) на рисунке 1.

Критерием безопасности при запроектных авариях является состояние атмосферы под защитной оболочкой, определенное вне области А (вне «полуострова» детонации).

В качестве проектного предела для проектных аварий принят следующий показатель – не более 2 % объемной концентрации водорода в среднем по объему ГО, то есть 50 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР).

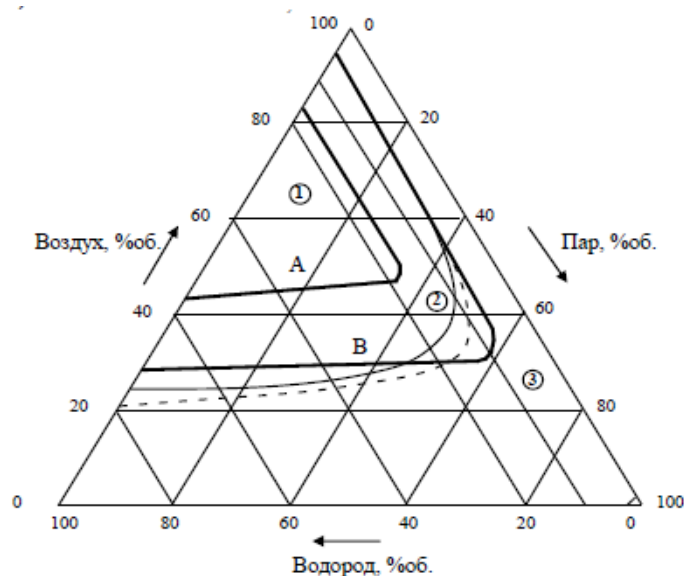


Рис. 1. Треугольная диаграмма Шапиро-Моффетти для смеси водород – воздух – пар

А – область детонации
В – область дефлаграции
— Т = 20...80 °С, Р = 101 кПа
— Т = 149 °С, Р = 101 кПа
- - - Т = 149 °С, Р = 892 кПа
① - состояние взрывоопасности (область детонации);
② - состояние взрывоопасности (область дефлаграции);
③ - состояние взрывобезопасности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кириллов И.А. Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://blog.secnrs.ru/wp-content/uploads/2017/07/hydrogen_safety.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
2. Инструкция по эксплуатации системы контроля и аварийного удаления водорода в гермообъеме энергоблока №5 НВАЭС №5.2. СКАУВ.ИЭ
3. Воробьев В.В. Расчет влияния отравления на производительность пассивного каталитического рекомбинатора водорода. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2017/documents/mntk2017-137.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Shapiro Z.M., Moffette T.R. Hydrogen flammability data and application to PWR loss-of-coolant accident

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель, каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

ОПИСАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВАКУУМНОГО КОНТУРА

И.Н. Нурболова

Государственный университет имени Шакарима города Семей

Газовая система входит в состав технологических систем реактора и предназначена для создания и поддержания в газовой полости реактора гелиевой среды, контроля давления газовой среды, обеспечения безопасных условий при проведении ремонтных и профилактических работ, а также наполнения реактора гелием или азотом, отбора проб для химических анализов и радиометрических измерений. Газовая система состоит из:

1. Газовакуумного контура. Газовакуумный контур предназначен для вакуумирования газовой полости реактора при подготовке к заполнению ее гелием, обеспечения циркуляции воздуха через газовые полости реактора при выполнении работ, связанных с разгерметизацией реактора.
2. Систем предохранительных клапанов. Система предохранительных клапанов предназначена для защиты корпуса от превышения давления. Система предохранительных клапанов включает в себя предохранительные – электромагнитные клапаны, управляемые двумя электроконтактными манометрами. Клапаны взводятся (закрываются) при подготовке к пуску, при проверке схемы управления и сигнализации, а также проверке герметичности этих клапанов. При увеличении давления в газовой полости реактора выше значения $16 \cdot 10^{-2}$ кгс/см² срабатывает предупредительная световая и звуковая сигнализация. А при

достижении $35 \cdot 10^{-2}$ кгс/см² срабатывает аварийная защита реактора и электромагнитные клапаны открываются (сбрасываются) [1].

3. Систем измерения давления. Система измерения давления предназначена для измерения абсолютного и избыточного давления, отбора проб газа из газовой полости реактора для проведения химических анализов. Система измерения давления включает в себя следующие элементы: систему подпитки реактора гелием, линию для отбора проб, фильтр Петрянова, трубопровода и запорной арматуры, и контрольно измерительные приборы;
4. Систем флегматизации. Система флегматизации предназначена для снижения температуры кладки и вытеснения кислорода во время пуска или в процессе пускового расхолаживания.

В состав системы флегматизации входит: клапан предохранительный, для предотвращения повышения давления; трубопровод; запорная арматура; контрольно измерительные приборы [2].

Газовакуумный контур состоит из вакуумных насосов (рисунок 1), предназначенных для вакуумирования газовой полости реактора, маслоотстойника, газодувок, контрольно измерительных приборов, пульта управления насосами, газодувками, фильтра Петрянова, предохраняющего оборудование контура от загрязнения аэрозолями (до уровня удельной активности 10^{-4} Ки/л), трубопроводов и запорной арматуры, сбросного трубопровода с фильтрами (16 штук) и выбросной трубы для выброса в атмосферу газовых аэрозолей из газовой полости реактора. В выбросной трубе установлен гамма датчик, системы гамма-газового контроля с предварительным отбором газа на измерение газовой активности. Из выхлопного трубопровода газ направляется в сбросной трубопровод, откуда после очистки фильтров (16 штук) поступает в выбросную трубу. Газовая система предусматривает сбор газа в выхлопную систему пневмогидравлические системы стенда через вентиль ВН-710 [3].

Остаточное содержание кислорода в газовой полости реактора после заполнения ее гелием должно быть не более 0,01 % (объемных). Избыточное давление, поддерживаемое в газовой полости реактора, должно быть в пределах от $4,1 \cdot 10^{-3}$ до $6,8 \cdot 10^{-3}$ МПа.

Рабочее давление трубопроводов и арматуры составляет 3 кгс/см^2 (0,3 МПа), а рабочее давление корпуса реактора от $2,5 \cdot 10^{-2}$ до $35 \cdot 10^{-2}$ кгс/см² (от $2,5 \cdot 10^{-3}$ до $35 \cdot 10^{-3}$ МПа).

Циркуляция воздуха через газовые полости реактора при разгерметизации реактора осуществляется газодувками ГАЗ-1, ГАЗ-2. При работе газодувок в газовой полости реактора поддерживается постоянное разрежение. Поток воздуха, направляемый внутрь газовой полости реактора, предотвращает проникновение аэрозолей и газообразных продуктов деления в рабочие помещения. Технологическая схема газовакуумного реактора не исключает попадания в рабочие полости газодувок масла и воды из выхлопного трубопровода в случае выброса этих продуктов вакуумными насосами. Включение газодувок в работу при наличии в корпусе масла или воды может привести к поломке лопаток рабочего колеса или перегрузке и выходу из строя электродвигателей. Для преду-

преждевения полонки к нижним точкам корпусов ГАЗ-1 и ГАЗ-2 подсоединены дренажные трубопроводы с вентилями ВН-24 и ВН-25 Общая производительность газодувок:

- для одной газодувки на 1 скорости.....55,5 л/с;
- для одной газодувки на 2 скорости 111 л/с;
- для двух газодувок на 1 скорости111 л/с;
- для двух газодувок на 2 скорости222 л/с.

Максимальное разрежение, создаваемое газодувками $16,3 \cdot 10^{-3}$ МПа. Электрическая схема питания газодувок обеспечивает их работу на двух режимах, различающихся производительностью и создаваемым разрежением:

- режим 2 включается при вскрытии центрального экспериментального канала;
- режим 1 включается во всех остальных случаях.

Режим работы газодувок определяется размерами вскрываемого отверстия в корпусе реактора и степени загрязненности газовой полости реактора [4].

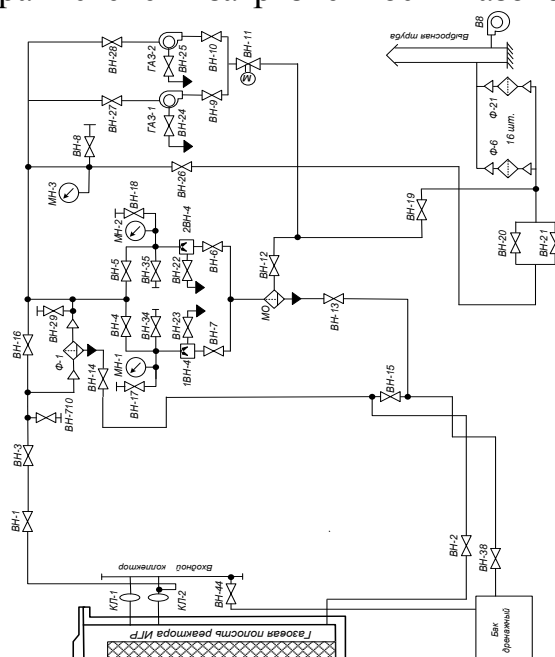


Рис. 1. Устройство и работа газовакуумного контура

Газовакуумный контур состоит из:

- вакуумных насосов 1ВН-4 и 2ВН-4, предназначенных для вакуумирования газовой полости реактора при подготовке реактора к пускам;
- маслоотстойника, препятствующего проникновению масла в выпускные трубопроводы контура. Объем маслоотстойника составляет 1 м^3 ;
- контрольно измерительных приборов (мановакуумметров МН-1, МН-2, МН-3);
- пульта управления насосами, газодувками и запорной арматуры;
- фильтра Петрянова Ф-2, предохраняющего оборудование контура от загрязнения аэрозолями и другими радиоактивными элементами (до уровня удельной активности 10^{-4} Ки/л);

- сбросного трубопровода с фильтрами Ф-6 ÷ Ф-21 (16 шт);
- выбросной трубы для выброса в атмосферу газовых аэрозолей из газовой полости реактора.

Всасывающий трубопровод вакуумных насосов 1ВН-4 (2ВН-2) подсоединенный коллектору, который сообщается с газовой полостью реактора и входным коллектором электромагнитного клапана через последовательное расположение:

- змеевик, погруженный в основной бак и обеспечивающий охлаждение газа, поступающего в контур;
- фильтр Ф-1. Предусмотрено байпасирование Ф-1 по обводному трубопроводу с вентилем ВН-16. Дренаживание в случае попадания масла или влаги из полости Ф-1 осуществляется по сливному трубопроводу, соединяющему нижнюю точку Ф-1 с трубопроводом дренажного контура водяной системы реактора, через вентили ВН-14 и ВН-15 [5].

К всасывающему трубопроводу подсоединены:

- вакуумные насосы 1ВН-4, 2ВН-4 и вентили ВН-4 и ВН-5;
- газодувки ГАЗ-1, ГАЗ-2 и вентили ВН-27 и ВН-28;
- вентиль ВН-29, предназначенный для наполнения воздухом всасывающего трубопровода насосом 1ВН-4, 2ВН-4.

В процессе работы корпуса вакуумных насосов 1ВН-4, 2ВН-4 охлаждаются водой основного контура водяной системы реактора. Подключение трубопровода охлаждения осуществляется вентилями ВН-81 и ВН-82. Трубопроводы сепараторов вакуумных насосов 1ВН-4, 2ВН-4 через вентили ВН-7 и ВН-6, соединены с маслоотстойником, препятствующим проникновению масла в выхлопные трубопроводы контура. Накопившееся в маслоотстойник, масло через вентиль ВН-13 удаляется по дренажному трубопроводу в дренажный бак. Газ из маслоотстойника направляется через вентиль ВН-12 в выхлопной трубопровод, к которому подсоединены:

- выхлопы газодувок ГАЗ-1 и ГАЗ-2 через вентили ВН-9, ВН-10, ВН-11;
- выхлоп вентиляции надбункерного помещения через вентили ВН-108 и ВН-19.

Заключение:

Газовакуумный контур обеспечивает технически правильную и безопасную эксплуатацию реактора, предназначена для охлаждения корпуса реактора и ампул экспериментальных каналов, вакуумирования и наполнения газовой полости реактора, в которой размещена активная зона и отражатель, инертным газом - гелием.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Емельянов И. Я. Предпринимательство в России: конструирование ядерных реакторов. - М.: Энергоиздат, 1982.- 400 с.
2. Камерон И. Предпринимательство в России: ядерные реакторы. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 127-135с.

3. Кенжин, Е. А. Исследования радиационного разогрева материалов,
4. используемых в реакторостроении // Вестник НЯЦ РК.- 2009.- N 2.- С. 158-163.
5. Комплекс исследовательского реактора ИГР. Технологический регламент. АК.65000.02.104 Д (2014 г.).
6. Реактор ИГР. Газовая система. Руководство по эксплуатации АК.65000.01.710 РЭ (2011 г.).

Научный руководитель: М.К. Жамбаева, магистр технических наук, преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика», Государственный университет имени Шакарима города Семей, Казахстан.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА

Г.Е. Торехан

Государственный университет имени Шакарима города Семей

В настоящее время при производстве, разработке и внедрении прогрессивных технологий и новой техники важным аспектом научно-технического прогресса является поиск новых способов получения материалов и изделий с заданными или принципиально новыми свойствами. Одним из широко применяемых и востребованных керамических материалов в мире и в нашей стране является силицированный графит.

Силицированный графит – это высокотвёрдый, эрозионно- и коррозионностойкий материал, состоящий из карбида кремния, углерода и кремния [1,4]. Силицированный графит широко используется в металлургической, химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности Казахстана. Также он находит свое применение в качестве узлов трения (уплотнительные кольца, подпятники, подшипники скольжения) в насосах, реакторах, сепараторах и другом оборудовании [5]. Однако главным направлением применения подобных материалов является ядерная энергетика [4]. Поэтому исследование различных свойств этого материала является весьма актуальной задачей. Целью настоящей работы является исследование изготовленных образцов силицированного графита, полученных методом порошковой металлургии с использованием компонентов на основе отходов промышленного производства.

В качестве исходных материалов для получения силицированного графита были использованы технический углерод (сажа) ГОСТ 7885-86 и кварцевый песок ГОСТ 22551-77. Предложенная технология получения силицированного графита включает в себя следующие основные стадии: подготовку сырьевых материалов (измельчение, смешение компонентов), прессование и спекание. Данные операции выполняются с использованием следующего оборудования: вибрационный стол FRITSCH, на который последовательно устанавливается

шаровая мельница из корунда и набор сит для автоматического просеивания частиц, лабораторный гидравлический пресс 300-800-4Э. Спекание проводится в графитовом тигле на универсальном высокотемпературном стенде индукционного нагрева ВЧГ-135. Морфологию микроструктуры поверхности изучали на оптическом микроскопе «OLYMPUS-BX41M». Измерения микротвердости (Н_μ) образцов проводили по методу Виккерса на микротвердомере ПМТ-3М при нагрузках на индентор - 100 г в соответствии с ГОСТ 9450-76.

Для материаловедческих исследований были отобраны образцы А, В и С, которые представлены на рисунке 1. Из каждого образца были подготовлены металлографические шлифы.



а) образец А

в) образец В

с) образец С

Рис. 1. Исследуемые образцы

При анализе микроструктуры поверхностей образцов было обращено внимание на наличие на снимках трех структурных составляющих, отличающихся, по крайней мере, по цвету. Эти составляющие были условно обозначены как серая, белая и черная фазы которые указаны стрелками (рисунок 2а). Детальное исследование микроструктуры в различных участках поверхностей показало, что в любом участке сечения фиксируется наличие трех фаз, различающихся как по цвету, так и по контрасту это проиллюстрировано на рисунке 2б. Было установлено также, что в целом форма и средние размеры частиц каждой из фаз, как и характер взаиморасположения соседствующих частиц различных фаз сохраняются одинаковыми по всему сечению образца. Микротвердость серой фазы составляет от 20300 МПа до 23400 МПа.

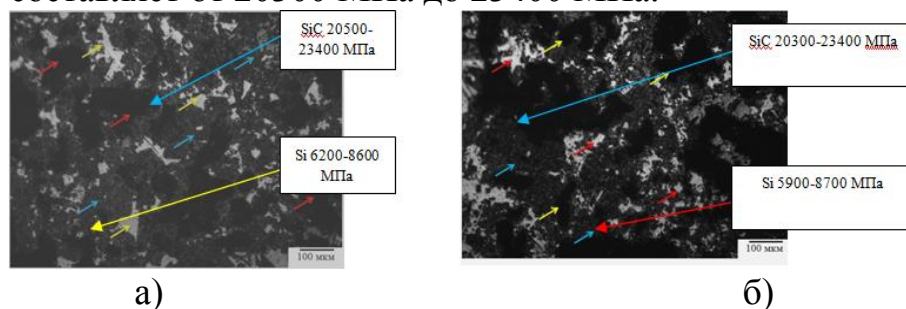


Рис. 2. Микроструктура поверхности образцов прототипа силицированного графита

Микроструктура образца А (при 1550 °С; состав шихты: 70 % SiO₂, 30 % сажа,) представляет собой двухфазную структуру, предположительно из карбида кремния с микротвердостью от 15100 МПа до 15900 МПа и Si(O₂) с микротвердостью от 5900 МПа до 8700 МПа. Плотность данного образца составила 2,14 г/см³. Как видно на рисунке 3 в процессе формирования материала образовались поры, средний размер которых составляет около 20-25 мкм.

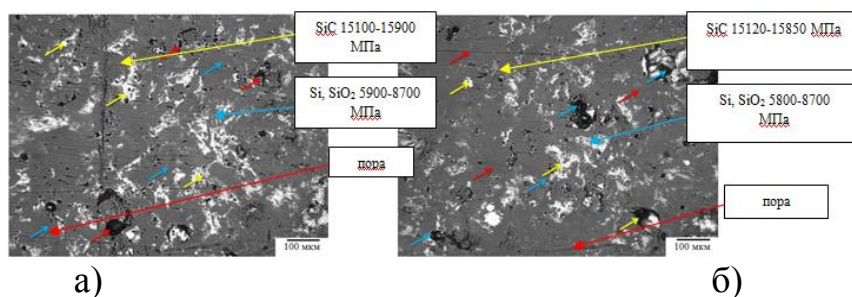


Рис. 3. Микроструктура поверхности образца А

Микроструктура образца В (при 1550 °С; состав шихты: 60 % SiO_2 , 40 % сажа,) представляет собой двухфазную структуру, предположительно из карбида кремния с микротвердостью от 12570 МПа до 12980 МПа и $\text{Si}(\text{O}_2)$ с микротвердостью от 5715 МПа до 8720 МПа. В структуре материала присутствуют включения, которые, скорее всего, представляют остатки фрагментов исходной шихты. Плотность данного образца составила 1,92 г/см³. Как видно на рисунке 4 образовались поры, средний размер которых составляет около 10-14 мкм.

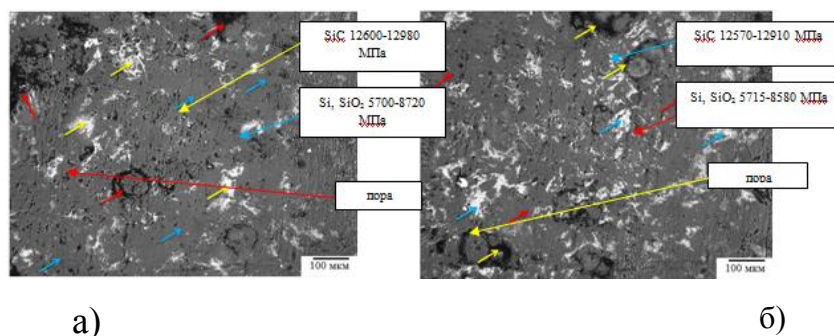


Рис. 4. Микроструктура поверхности образца В

Микроструктура образца С (при 1550 °С; состав шихты 40 % SiO_2 , 60 % сажа) представляет собой двухфазную структуру, предположительно из карбида кремния с микротвердостью от 10300 МПа до 10700 МПа и $\text{Si}(\text{O}_2)$ с микротвердостью от 5250 МПа до 8240 МПа. В структуре материала присутствуют включения, которые, скорее всего, представляют остатки фрагментов исходной шихты. Плотность данного образца составила 1,98 г/см³. В результате исследования структуры установлено, что внутренняя сторона образцов покрыта неглубокими язвами, имеются мелкие поры размером около 21-25 мкм (рисунок 5).

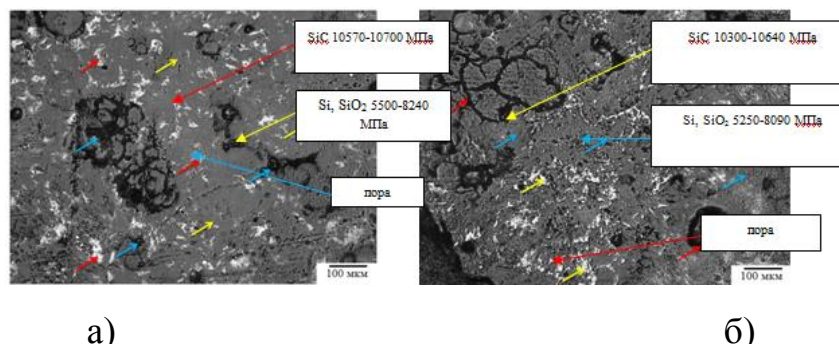


Рис. 5. Микроструктура поверхности образца С, полученного методом высокочастотного индукционного нагрева на стенде ВЧГ-135

При малых размерах пор, силицирование приводит к быстрому блокированию транспортных пор и полнота силицирования не достигается. При больших размерах пор, расплав кремния протекает через заготовку с высокой скоростью, что не благоприятствует образованию карбида кремния, частично вытекает из нее.

Проведя анализ экспериментальных данных по получению опытного образца силицированного графита можно сделать следующие выводы:

- отработаны технологические режимы спекания, оптимальная температура (1550 °С) и время процесса (50 мин с последующим охлаждением до комнатной в инертной среде рабочей камеры ВЧГ-135);
- выявлено, что структура полученного материала состоит из трех основных фаз, соответствующих силицированному графиту, это карбид кремния (SiC) с микротвердостью от 10840 МПа до 15900 МПа, свободный углерод (C) и кремний (Si) с микротвердостью от 5250 МПа до 8720 МПа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тарабанов А.С., Костиков В.И. Силицированный графит. - М.: Металлургия, 1977.- 208 с.
2. Гнесин Г.Г. Карбидокремниевые материалы. - М.: Металлургия, 1977.- 215 с.
3. Люлько В.Г. «Физико-химические основы и технология получения композиционных порошков термосинтезом в вибрирующем слое». - М.: Москва, 2004.- 517 с.
4. Гузман И.Я. Химическая технология керамики. - М.: ООО РИФ «Стройматериалы». 2003.- 406 с.
5. Брантов С.К., Кузнецов Н.Н. Электрофизические свойства композиционного материала на основе силицированной углеграфитовой ткани. - М.: Материаловедение, 2002.- 25-27 с.

Научный руководитель: М.К. Жамбаева, магистр технических наук, преподаватель кафедры Техническая физика и теплоэнергетика, Государственный университет имени Шакарима города Семей, Казахстан.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВочНОГО КОЭФФИЦИЕНТА САМОПОГЛОЩЕНИЯ В ТВЭЛАХ ВОТК-НОУ

Р.Р. Сабитова

Государственный университет имени Шакарима города Семей

Измеряемой величиной в гамма-спектрометрии обычно является число импульсов в пиках полного поглощения (ППП) энергии гамма-квантов, характерных для измеряемого радионуклида. Гамма-кванты, прежде чем попасть в детектор, проходят слой материала источника и могут поглотиться или поте-

рять часть энергии. За счет этого эффекта, называемого *самопоглощением*, уменьшается число импульсов, зарегистрированных в ППП. Коэффициент самопоглощения зависит от формы, размеров и расположения источника относительно детектора (от геометрии измерения), а также и от материала объемного источника – от его элементного (химического) состава и плотности.

Большое разнообразие материалов объемных источников и геометрий измерения, встречающихся в практической гамма-спектрометрии, делают возможным учет самопоглощения только экспериментальными методами и требуют привлечения для этого расчетных методов. Поэтому задача данной работы состоит в определении расчетным путем поправочного коэффициента самопоглощения K в объемном источнике (ТВЭЛ ВОТК-НОУ), который при этом будет менять свое расположение в пространстве и химический состав [1].

Один из наиболее эффективных методов расчета коэффициентов самопоглощения объемных источников состоит в том, что объемный источник рассматривается как совокупность точечных источников в его объеме, вносящих элементарные вклады в полную скорость счета в ППП. Коэффициент самопоглощения равен отношению интегральных по объему источника вероятностей вызвать импульс в ППП при наличии и в отсутствие поглощения в источнике:

$$K = \frac{\varepsilon_{point}}{\varepsilon_{sample}} \quad (1)$$

где ε_{point} – эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 185,7 кэВ для точечного непоглощающего гамма;

ε_{sample} – эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 185,7 кэВ для образца ТВЭЛ ВОТК-НОУ.

Эффективностью регистрации называется отношение числа заряженных частиц, вызвавших разряд, к общему числу частиц, попавших в рабочий объем счетчика. Эффективность регистрации гамма-квантов составляет примерно от 0,2 до 1,5% в зависимости от энергии квантов [2].

ТВЭЛ ВОТК-НОУ представляет собой спиральный стержень двухлопастного профиля с толщиной лопасти в пределах от 1,47 до 1,53 мм. Винтовая закрутка лопасти вокруг оси имеет шаг в среднем 30 мм. ТВЭЛ состоит из оболочки (сплав Э110 (Zr – 99%) и топливного сердечника (композиция металлического урана и сплава Э110) [3].

Основные исходные данные для расчета поправочного коэффициента:

- | | |
|--|--------|
| - энергия гамма-квантов, кэВ | 185,7; |
| - плотность циркония, г/см ³ | 6,51; |
| - плотность урана, г/см ³ | 18,88; |
| - длина образца ТВЭЛ, мм | 20; |
| - расстояние от образца до крышки детектора GC1020, мм | 50. |

В таблице 1 приведены геометрические размеры образца, толщина оболочки которой составляет 200 мкм.

Табл. 1. Геометрические размеры образца

Элемент	Описанный диаметр, мм	Толщина, мм
Твэл	2,8	1,6
Сердечник твэла	2,4	1,2
Оболочка твэла	-	0,2

В таблице 2 приведены дополнительные исходные данные, необходимые для расчета, такие как: объем урана $V(U)$ и циркония $V(Zr)$ в сердечнике твэла, рассчитанные на единицу длины твэла $L = 10$ мм, плотность сердечника и содержание урана в твэле. Данные в столбцах рассчитаны исходя из заданного содержания урана в сердечнике твэла.

Табл. 2. Сходные данные для расчета

Содержание урана в сердечнике, % масс.	$V(U)$, см ³ (сердечник $L = 10$ мм)	$V(Zr)$, см ³ (сердечник $L = 10$ мм)	Плотность сердечника, г/см ³	Содержание урана в твэле, % масс.
0	0.0	$2,75 \cdot 10^{-2}$	6,5100	0
7,0	$6,969 \cdot 10^{-4}$	$2,69 \cdot 10^{-2}$	6,8229	4,61
13,0	$1,347 \cdot 10^{-3}$	$2,6211 \cdot 10^{-2}$	7,1161	8,69
16,0	$1,695 \cdot 10^{-3}$	$2,581 \cdot 10^{-2}$	7,2724	10,78
19,0	$2,058 \cdot 10^{-3}$	$2,544 \cdot 10^{-2}$	7,4356	12,89

Вариантные расчеты поправочного коэффициента проводились с помощью программы MCNP5 с библиотекой констант фотонов из набора библиотек DLC-220 [4]. Расчеты проводились для геометрии образца с различным количеством урана в сердечнике. На рисунке 1 представлены изображения диалогового окна программы Visual Editor с фрагментами графического изображения расчетной модели «источник – детектор».

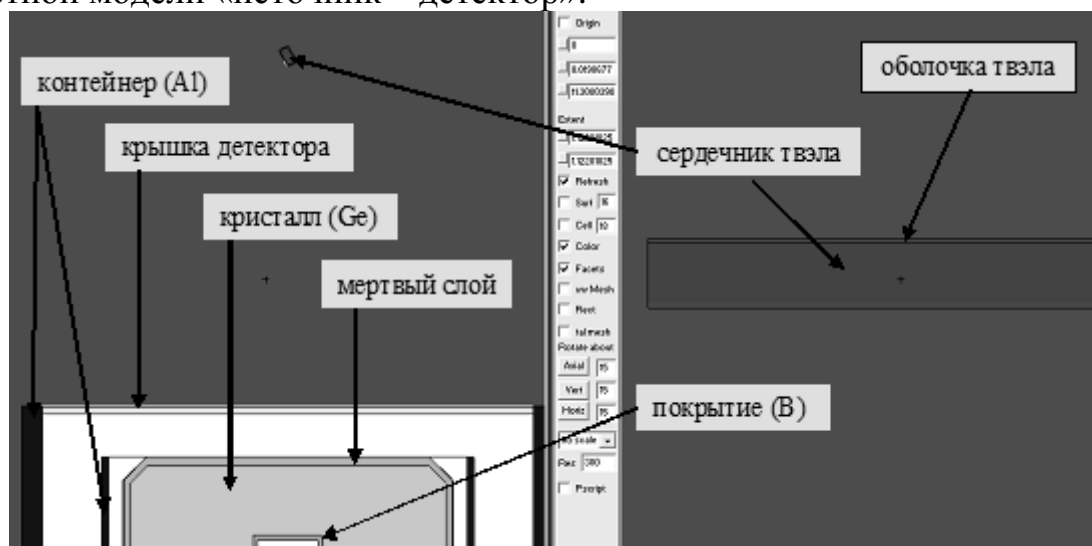


Рис. 1. Расчетная модель с вертикальным положением образца

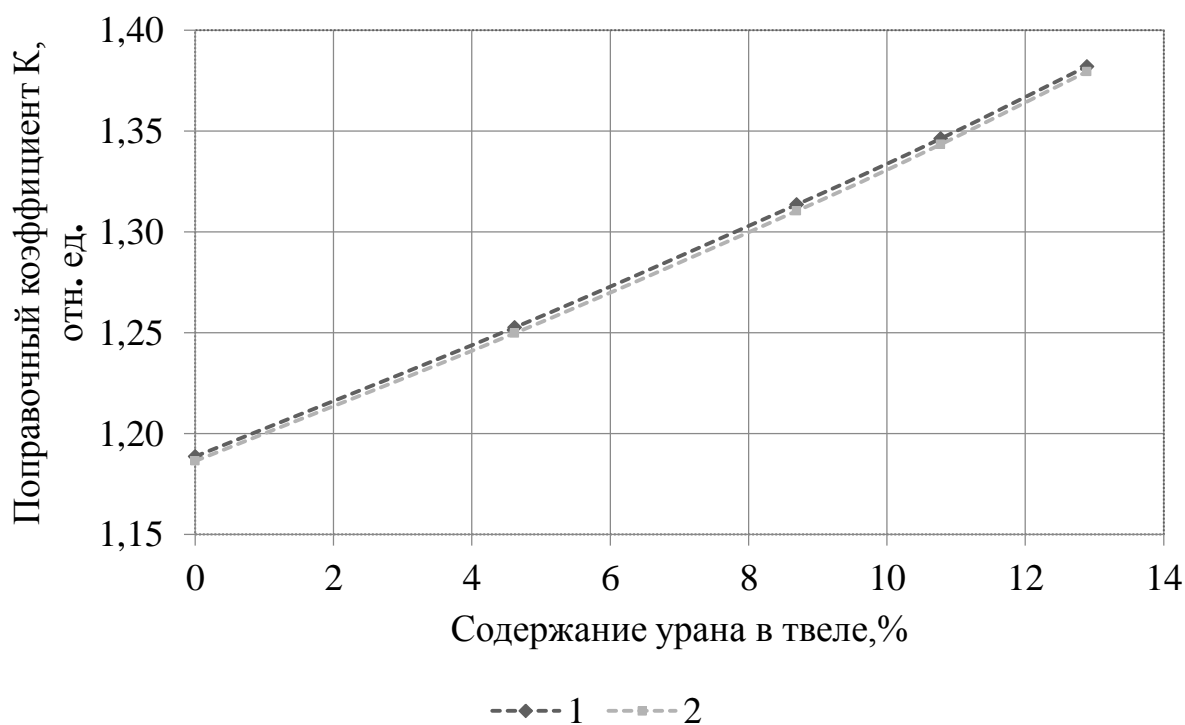
Источник гамма-излучения в пределах одного участка образца задавался изотропным, равномерно распределенным по объему сердечника образца твэла.

Полученные программой MCNP расчеты и определение на их основе коэффициента поправки самопоглощения гамма-квантов для двух вариантов геометрических расположений представлены ниже в таблице 3.

Табл. 3. Результаты расчета поправочного коэффициента

Содержа- ние урана в твэле, % масс.	Эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 185,7 кэВ, $\varepsilon_{\text{sampl}} \cdot 10^{-2}$, отн. ед.		Поправочный коэффициент самопоглощения K, отн.ед.		
	$\varepsilon_{\text{point}}$	плоскость образца относительно детектора			
		торцевая	боковая	торцевая	боковая
0	1,532	1,290	1,289	1,186	1,189
4,61		1,226	1,223	1,250	1,253
8,69		1,169	1,166	1,310	1,313
10,78		1,140	1,138	1,343	1,346
12,89		1,111	1,109	1,379	1,382

Сравнивая результаты расчета, можно заметить, что поправочный коэффициент самопоглощения различается для двух положений (торцевое и боковое) в среднем на 0,32% , что показано на рисунке 2.



- 1 – геометрия расположения твэла к детектору торцевой плоскостью;
 2 – геометрия расположения твэла к детектору боковой плоскостью.

Рис. 2. График сравнения поправочного коэффициента для двух геометрических положений твэла

Заключение

Было подтверждено, что изменение геометрии, химического состава и плотности влияет на значение поправочного коэффициента. Была выявлена тенденция роста коэффициента при увеличении в твэле массовой доли урана.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Характеристики гамма - спектрометрического метода радионуклидного анализа // Физический факультет Южного федерального университета URL: <http://www.phys.rsu.ru> (дата обращения: 12.06.17).
2. Эффективность регистрации ионизирующих излучений // URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru> (дата обращения: 10.06.17).
3. Поправочный коэффициент при определении содержания урана в образцах твэлов ВОТК-НОУ: протокол от 01.07.2016 № 13-240-02/1078вн / филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатov, 2016. – 2 с.
4. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I, II, III. X-5 Monte Carlo Team. Los Alamos, New Mexico 2003.

Научный руководитель: И.В. Прозорова, начальник группы лаборатории физики реакторных установок, Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Н.В. Седельников
Сибирский федеральный университет

Аннотация: задачей работы является разработка специализированного программного обеспечения, позволяющего проводить многовариантные тепловые расчетные исследования котельных агрегатов с целью оптимизации конструктивных и режимных характеристик парового котла, например, при переводе котельного агрегата с жидкого шлакоудаления на твердое, что в конечном итоге будет способствовать повышению эффективности работы котлов, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна.

В настоящее время парк оборудования тепловых электрических станций Красноярского края, а именно значительная его часть, представлена устаревшими и физически изношенными котлами с жидким шлакоудалением (ЖШУ), а именно 40-42% выработки электрической и тепловой мощности электростанций приходится на данные котельные агрегаты. Результаты эксплуатации котлов с ЖШУ указывают на значительное отставание в техническом развитии топочных процессов, физическое и моральное старение данных котлов. Поэтому для решения вышеперечисленных проблем предполагается разработать конструктивно-компоновочные и режимные мероприятия, позволяющие повысить эффективность работы котельных агрегатов, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна. При реконструкции и проектировании паровых котельных агрегатов необходимо выполнять многовариантные и многофакторные расчетные исследования. Эти исследования достаточно трудоемки, но необходимы для обеспечения надежной и экономичной работы оборудования, поэтому все чаще в качестве дополнительных мер применяются средства программного обеспечения.

В настоящее время существуют специализированные программы, предназначенные для выполнения теплогидравлических расчетов котельных агрегатов, такие как ТРАКТ (ЗиО) и Boiler Designer, однако данные программные комплексы не соответствуют современным требованиям, предъявляемым при расчете теплоэнергетического оборудования.

В этой связи появилась необходимость разработки собственного специализированного программного продукта, позволяющего производить комплексный расчет котельных агрегатов. Расчетный подход и структура программы наглядно продемонстрированы в виде алгоритма, представленного на рисунке 1. Для проведения расчетных исследований необходимо: ввести комплект исходных данных, выбрать режим расчета, составить структурные схемы основных трактов котла, подключить специализированные библиотеки, расчетные функции, а также подпрограммы. Алгоритм расчета в основном базируется на нормативных методах теплового расчета котла [1]. Расчетный алгоритм можно разделить на три индивидуальных блока, а именно расчет показателей экономичности работы парового котла, расчет теплообмена в топочной камере, а также расчет радиационных, полурадиационных и конвективных поверхностей нагрева.

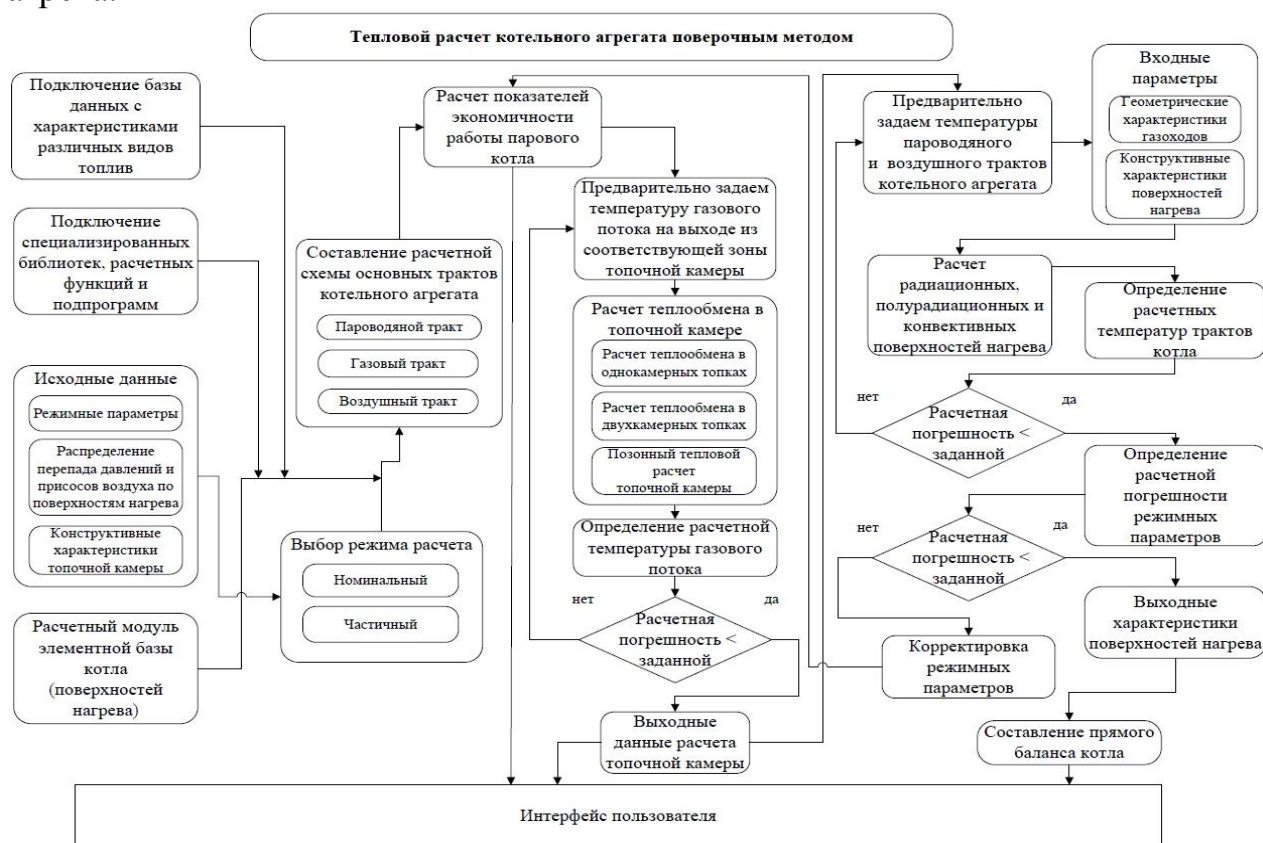


Рис. 1. Блок-схема теплового расчета котельного агрегата поверочным методом

В качестве режимных параметров, которые впоследствии корректируются программой, выступают: температуры перегретого пара, горячего воздуха и уходящих газов. При поверочном расчете поверхностей нагрева котельных агрегатов из четырех характерных температур газового потока и нагреваемой

среды, как правило, известны только две, в результате расчета предыдущей поверхности нагрева. Предварительно задавшись недостающими значениями температур газов и рабочей среды на выходе из поверхности нагрева, выполняется расчет коэффициента теплопередачи и средне логарифмического температурного напора. При подстановке полученных значений решается система балансовых уравнений методом последовательных приближений (метод Ньютона). Завершающим этапом расчетных исследований является проверка распределения тепловосприятия путем определения расчетной и относительной величины невязки теплового баланса котельного агрегата.

Для верификации программного обеспечения собран расчетный модуль, позволяющий выполнить поверочный расчет котельного агрегата с естественной циркуляцией БКЗ-320-140 с ЖШУ Красноярской ТЭЦ-1. Упрощенные схемы пароводяного и воздушного трактов котла представлены на рисунке 2. На данном рисунке показаны следующие обозначения: 1 – топочные экраны, 2 – потолочный радиационный пароперегреватель, 3 – полурadiaционный пароперегреватель, 4 – конвективный пароперегреватель, 5 – конвективный пароперегреватель, 6 – II ступень водяного экономайзера, 7 – II ступень воздухоподогревателя, 8 – I ступень водяного экономайзера, 9 – I ступень воздухоподогревателя, 10 – смешивающая камера, 11 – смешивающая камера, 12 – конденсатор пара на впрыск, 13 – барабан котельного агрегата, 14 – пароохладитель I ступени, 15 – пароохладитель II ступени.

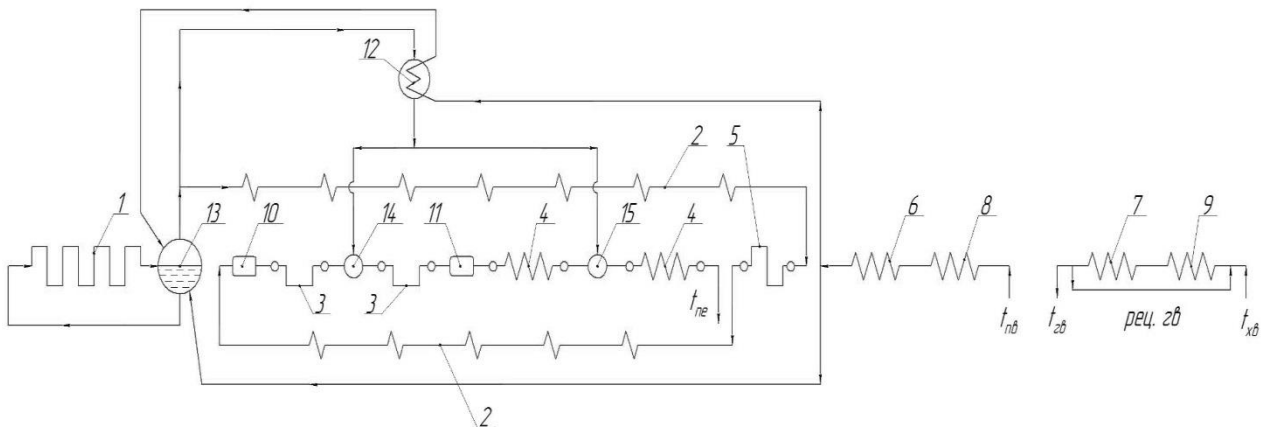


Рис. 2. Упрощенные схемы пароводяного и воздушного трактов котельного агрегата БКЗ-320-140

На рисунках 3 и 4 представлены результаты расчетных исследований котельного агрегата БКЗ-320-140 в виде ϑtQ – диаграмм.

Данные диаграммы представляют собой зависимость изменения температур продуктов сгорания (ϑ) и рабочего тела (t) от балансовой теплоты Q , отданной рабочему телу газовым потоком. Приведенные диаграммы отображают распределение тепловосприятия рабочей среды между поверхностями нагрева котла и соответствующее изменение температур сред трактов котельного агрегата.

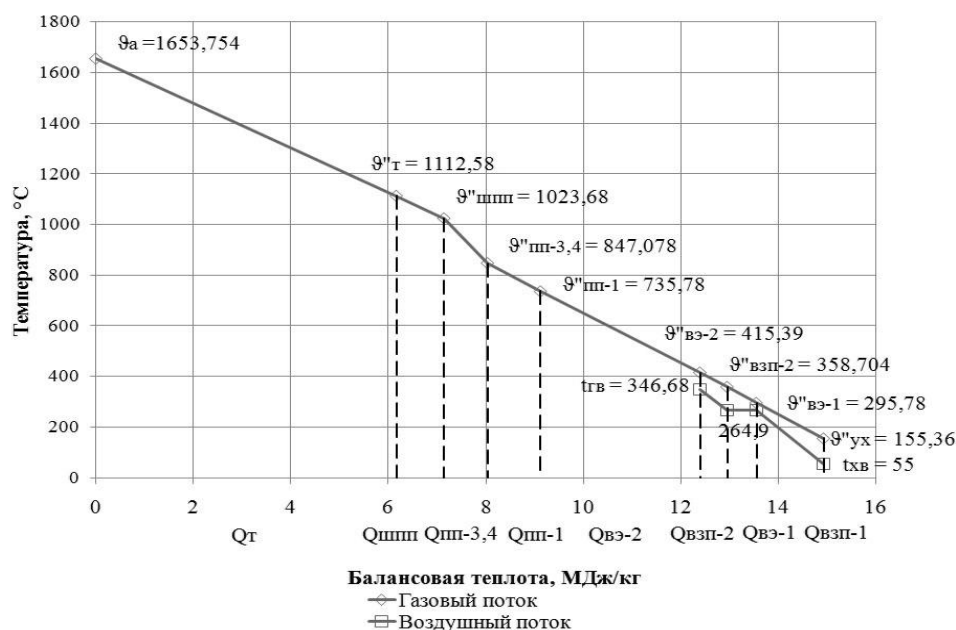


Рис. 3. Диаграмма изменения температуры газозоудушного потока от балансовой теплоты котельного агрегата БКЗ-320-140 Красноярской ТЭЦ-1

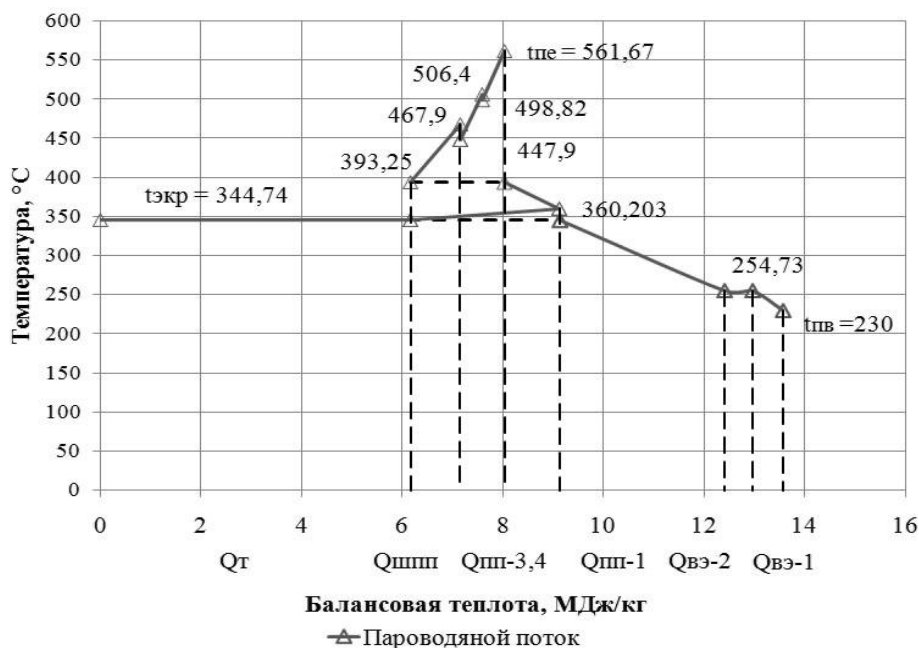


Рис. 4. Диаграмма изменения температуры пароводяного тракта от балансовой теплоты котельного агрегата БКЗ-320-140 Красноярской ТЭЦ-1

Анализ данных, приведенных на диаграммах, дает представление об условиях работы каждой поверхности нагрева, позволяет определить температурные напора и оценить надежность работы металла поверхностей нагрева. Следующий этап разработки программного комплекса заключается в его модернизации, а именно предполагается: детальная проработка расчетной методики и реализация алгоритма, позволяющего выполнить конструкторский расчет парового котла; сформировать наглядный пользовательский интерфейс; проработать элементную базу и редактор схем трактов парового котла.

Данное программное обеспечение будет впоследствии использовано для проработки технических решений при переводе котельного агрегата с ЖШУ на

ТШУ. Для чего необходимо провести ряд дополнительных расчетных исследований: расчет системы пылеприготовления и горелочных устройств, гидравлический расчет контура циркуляции, аэродинамический расчет котла, расчет токсичных компонентов в продуктах сгорания. Таким образом, дополнительно заложенные методики в программное обеспечение будут способствовать проведению более эффективных расчетных исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Изд. 3-е, перераб. и доп. С. – Петербург : НПО ЦКТИ – ВТИ, 1998 – 257 с.
2. Бойко Е. А. и др. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла) : Учебное пособие / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.

Научный руководитель: Е.А. Бойко, д.т.н, профессор каф. ТЭС ПИ СФУ.

ПАРОВАЯ ТУРБИНА К-1200 ДЛЯ ЭНЕРГБЛОКА С РЕАКТОРОМ БН-1200

Н.С. Панфилов¹, С.В. Лавриненко²
Томский политехнический университет^{1,2}
ЭНИН, АТЭС, группа 5022¹

Успешный пуск энергоблока БН-800 на Белоярской атомной электростанции подтолкнул атомную промышленность нашей страны к созданию более мощного энергоблока БН-1200. Данный блок будет являться первым в своем роде и не имеет аналогов за рубежом. Учитывая данный факт, невозможно воспользоваться уже существующими наработками для создания типового блока, а необходимо сконструировать каждый элемент в соответствии с заданными требованиями проекта. В докладе будут рассмотрены конструкция и основание для выбора турбины для данного энергоблока.

Ранее на атомных электростанциях устанавливались несколько турбин невысоких мощностей от 200 до 600 МВт. С развитием технологий инженеры и конструкторы перешли к идее одной турбины высокой мощности, полностью покрывающей заданную выработку электроэнергии энергоблока. Данные турбины существуют двух типов – тихоходные и быстроходные. Быстроходные турбины менее металлоемкие и меньше по размерам, поэтому более приоритетны в использовании. Однако степень сухости пара в конце процесса расширения в турбине ограничивала их мощность в связи с высоким эрозионным воздействием на лопатки последних ступеней цилиндра низкого давления. Долгое время считалось, невозможным создать быстроходную турбину мощностью, превышающей 1000 МВт. Однако в 1978 г. Ленинградский металлический завод изготовил уникальную одновальную турбину типа К-1200-240 мощностью

1200 МВт при частоте вращения 50 с^{-1} на начальные параметры пара 23,5 Мпа, 540°C . [1]

Данная турбина в единственном экземпляре эксплуатируется на Костромской ГРЭС. Возможность достижения приемлемой конечной степени сухости пара осуществляется за счет высоких начальных параметров. Так же для лопаток последних ступеней используется титановый сплав, способный лучше выдерживать воздействие частиц влаги паровоздушной смеси. Ранее подобные параметры возможно было получить на электростанциях с угольным топливом. Однако начальные параметры пара на БН-1200 достигают 17 Мпа и 510°C , что является наивысшими среди атомных электростанций.

Целью работы является убедиться, что для данного энергоблока возможен моноблочный принцип организации турбоустановки. Для этого необходимо определить степень сухости пара в конце процесса расширения в турбине. Принципиальная тепловая схема энергоблока К-1200 должна иметь одну турбоустановку, в состав которой входят: цилиндр ЧВД и двухпоточный ЦНД. Наиболее оптимальным является вариант, у которого разделительные давления выбраны так, что влажности на выходе из цилиндров будут примерно равны [2]:

$$y_k^{\text{ЧВД}} = y_k^{\text{ЦНД}} \quad (1)$$

Согласно произведенным расчетам степень сухости удовлетворяет допустимым значениям и составляет 98,5%. Для достижения данных значений необходимо использовать СПП со схемой С+2ПП. Дальнейшие расчеты показали, что для данной турбины оптимальными являются три поверхностных ПНД и один смешивающий, со смешанным типом слива дренажей. Так же 3 ПВД и деаэратор как ступень подогрева. КПД данной турбоустановки составляет 36%, что является средним значением для паровых турбин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. /А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001.-488 с.
2. Антонова А.М. Тепловые и атомные электрические станции. Проектирование тепловых схем: учебное пособие / А.М. Антонова, А.В. Воробьев; Томский политехнический университет, - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 256с.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ.

БОРНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Н.Н. Алексеев

Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5031

Большие кампании активных зон энергетических реакторов требуют больших начальных запасов реактивности ($15 - 22 \beta_0$), а, значит, и больших количеств поглотителей для их компенсации. Но перемещения в активной зоне «тяжёлых» поглотителей может вызывать сильное искажение нейтронного поля в реакторе, увеличивая неравномерность распределения $\Phi(r, H)$ и тем самым снижая экономические показатели работы энергоблока. Более того, в некоторых случаях перекосы нейтронного поля могут быть опасными, поскольку они приводят к возникновению неустойчивости нейтронного поля в реакторе.

Что же делать в таком случае? – Первая закономерно возникающая мысль: необходимо сделать так, чтобы введение поглотителя в активную зону было равномерным по всему объёму активной зоны. Эта идея и реализована в борном регулировании: жидкий поглотитель (борная кислота H_3BO_3) вводится в теплоноситель (воду) первого контура, и так как теплоноситель непрерывно циркулирует через активную зону реактора, в последней в любой момент времени будет содержаться строго определённое количество бора, равное произведению концентрации борной кислоты в теплоносителе на величину объёма, занимаемого теплоносителем в активной зоне. Следовательно, если величина концентрации борной кислоты в воде первого контура постоянна, то содержащаяся в объёме активной зоны борная кислота компенсирует определённую постоянную величину запаса реактивности, а если концентрация борной кислоты в первом контуре будет изменяться, то будет изменяться и скомпенсированный запас реактивности реактора. В этом – первичный смысл борного регулирования.

Таким образом, в начале кампании, создавая достаточно высокую концентрацию борной кислоты в воде, добиваются компенсации большей части начального общего запаса реактивности, оставляя на долю оперативного запаса небольшую величину, необходимую для обеспечения маневрирования реактора, и не превышающую величины $0.6 - 0.8 \beta_0$, обеспечивающей исключение возникновения ядерноопасных ситуаций даже при ошибках операторов, связанных в высвобождением больших положительных реактивностей при перемещениях подвижных поглотителей в активной зоне.

Борное регулирование (в отличие от регулирования реактора с помощью подвижных поглотителей) при любых предусмотренных изменениях концентрации борной кислоты практически не изменяет формы поля тепловых нейтронов в активной зоне.

Поскольку первый контур АЭУ реакторов типа ВВЭР, к сожалению, не герметичен (существуют так называемые контролируемые протечки из циркуляционных насосов первого контура), вместе с протечками теплоносителя из первого контура непрерывно медленно исчезает и жидкий поглотитель. Для

восполнения утечек борной кислоты из первого контура и для изменения её концентрации с целью обеспечения заданной безопасной величины оперативного запаса реактивности в составе реакторной установки с ВВЭР предусматривается система борного регулирования. Она состоит из насосов борного регулирования, ёмкостей для приготовления и хранения растворов борной кислоты и соединительных трубопроводов.

В обычном режиме система борного регулирования собрана таким образом, что производя забор раствора из рабочей ёмкости с концентрацией, равной концентрации борной кислоты в первом контуре, насосы борного регулирования подают этот раствор на всас штатных насосов системы подпитки первого контура, восполняя утечки из контура и воды и борной кислоты и, тем самым, поддерживая величину концентрации борной кислоты в воде первого контура постоянной.

При необходимости уменьшения величины оперативного запаса реактивности реактора система борного регулирования работает по той же схеме, исключая только то, что забор раствора берётся насосами не из ёмкости с текущим значением концентрации борной кислоты, а из ёмкости с концентрацией её, равной 40 г/кг (считается, что раствор с $C_k = 40$ г/кг – концентрированный раствор борной кислоты), в которой этот раствор подготовлен заранее.

При необходимости повышения величины оперативного запаса реактивности подпитка первого контура ведётся уже не раствором борной кислоты, а чистым дистиллятом, тем самым, изменяя обычный баланс между утечкой борной кислоты (вместе с протечками первого контура) и её восполнением (от системы борного регулирования). Проще говоря, подпиткой первого контура чистой водой добиваются снижения концентрации кислоты в контуре путём разбавления раствора в нём чистой водой.

Таким образом, главными достоинствами борного регулирования, обусловившими применение этого способа регулирования в отечественных ВВЭР, являются:

- «мягкость» регулирования, то есть неизменность при регулировании формы нейтронного поля в активной зоне реактора;
- возможность поддержания текущей величины оперативного запаса реактивности реактора в требуемых безопасных пределах, исключая возникновение режимов неуправляемого разгона реактора вследствие высвобождения больших положительных реактивностей при случайных ошибочных действиях оперативного персонала.

Характер изменения концентрации борной кислоты в первом контуре при водообмене

Уравнение баланса количества кислоты в первом контуре:

$$\gamma \cdot V \frac{dc}{dt} = C_{\Pi} \cdot G_{\Pi} - C(t) \cdot G_{\gamma}, \quad (1)$$

C_{Π} , г/кг – концентрация борной кислоты в баке борного регулирования;

G_{Π} , кг/с – массовый расход, обеспечиваемый системой подпитки I контура;

G_{γ} , кг/с – расход утечек (дренажа) первого контура.

Здесь первое слагаемое правой части (1) – скорость увеличения массы борной кислоты в первом контуре, приходящей из системы борного регулирования через систему подпитки, а второе – скорость убыли массы борной кислоты из I контура за счёт утечек из первого контура.

В стационарном режиме работы I контура, когда расход утечек в точности восполняется расходом подпитки I контура ($G_{\text{п}} = G_{\text{у}}$), а именно этот режим строго соблюдается на практике (иначе в контуре давление теплоносителя либо растёт при $G_{\text{п}} < G_{\text{у}}$, либо падает при $G_{\text{п}} > G_{\text{у}}$), и поэтому уравнение (1) с учётом этого условия будет:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{G_{\text{п}}}{\gamma \cdot V} [C(t) - C_{\text{п}}]. \quad (2)$$

Если в некоторый момент времени $t = 0$, принимаемый за момент начала отсчёта переходного процесса, величина концентрации борной кислоты в контуре была C_0 , то решение уравнения (2) при таком начальном условии будет:

$$C(t) = C_{\text{п}} - (C_{\text{п}} - C_0) \exp\left(-\frac{G_{\text{п}}}{\gamma \cdot V} t\right). \quad (3)$$

то есть изменение концентрации борной кислоты в I контуре в самом общем случае водообмена происходит во времени по экспоненциальному закону.

Для практика интересны два частных случая характера изменения концентрации борной кислоты, а именно:

а) Если начальное значение концентрации $C_0 = 0$ (что бывает при первом вводе борной кислоты в воду первого контура), то:

$$C(t) = C_{\text{п}} \left(1 - \exp\left(-\frac{G_{\text{п}}}{\gamma \cdot V} t\right)\right). \quad (4)$$

т.е. концентрация борной кислоты растёт по экспоненциальному закону, причем для каждой отдельно взятой АЭУ нарастание концентрации зависит от концентрации борной кислоты в баке борного регулирования, а также производительностью насосов.

Чем больше подача подпиточных средств, тем выше темп нарастания концентрации борной кислоты в воде I контура. Чем выше концентрация борной кислоты в подпиточной воде, тем выше скорость роста концентрации кислоты в I контуре. Характер роста концентрации кислоты в контуре показан на рис.2.

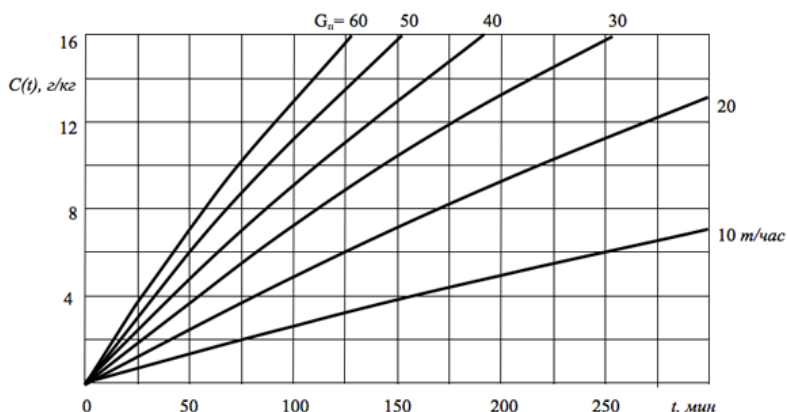


Рис. 2. Рост концентрации борной кислоты при первичном вводе её в первый контур.

б) Случай, когда $C_{\text{п}} = 0$ (то есть при разбавлении теплоносителя I контура чистым дистиллатом):

$$C(t) = C_0 \exp\left(-\frac{G_{\text{п}}}{\gamma \cdot V} t\right). \quad (5)$$

Как видим, и в этом случае (рис.3) падение величины концентрации борной кислоты в воде I контура происходит по экспоненциальному закону, задаваемому в конкретной АЭУ только производительностью подпиточных средств (равной расходу протечек первого контура).

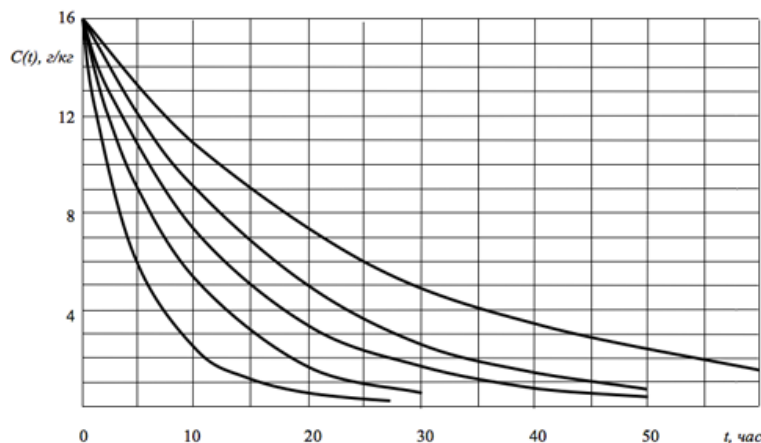


Рис. 3. Снижение концентрации борной кислоты в реакторе ВВЭР-1000 при расходах подпитки первого контура чистым дистиллатом (сверху вниз) – 10, 15, 20, 30, 50 т/час.

Похожие графики входят в рабочую документацию операторов РУ, и с помощью них решают следующие задачи:

1. по первичным данным концентрации борной кислоты C_1 и массового расхода $G_{\text{п}}$ можно рассчитать концентрацию борной кислоты $C(t)$ через время t с начала работы подпитки;
2. по начальным и конечным концентрациям борной кислоты в первом контуре определить время работы подпитки с определенным расходом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Инструкция по эксплуатации узла реагентов РЦ-5 №5.2.УР.ТБ.ИЭ
2. Инструкция по эксплуатации системы подпитки-продувки и организованных протечек №5.2.ПН.ПР.ИЭ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

С.А. Янковский, Д.Ю. Малышев
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС

ВВЕДЕНИЕ

Основная доля выработанной энергии приходится на тепловые станции [1]. В начале 2000 –х годов в России быстрыми темпами началось переоснащение энергетической отрасли. Уголь стали замещать более дешевым и экологически чистым природным газом, однако в настоящее время мировые цены на углеводороды нестабильны, поэтому для обеспечения безопасности внутреннего рынка требуется наличие сырья с устойчивой ценой [1-3]. К данному виду сырья можно отнести низкосортное топливо, запасы которого в России огромны и встречаются в каждом регионе. Согласно государственной программе «Энергетическая стратегия России до 2030 года» [1] снижение доли природного газа в энергетике должно осуществляться за счет увеличения доли твердого топлива. Вовлечение низкосортного энергетического сырья в производственный цикл для выработки энергии позволит сократить объемы потребления не возобновляемых ресурсов.

Россия обладает огромными запасами потенциального топлива, которое в современной энергетике не применяется. К таким топливам относят: торф, бурый уголь и т.п. В томской области 31,8 % земель занимают торфяники [4 – 6]. Данное сырье обладает низкой теплотворной способностью, поэтому для достижения одного и того же энергетического эффекта необходим большой расход топлива. Однако правильный подход к использованию данных энергоносителей может стать альтернативным решением в применении низкосортных топлив в малой энергетике.

Одним из путей решения сложившейся проблемы является переработка и получение твердого композитного топлива из торфа и отходов переработки древесины. Улучшенные теплотехнические характеристики таких топлив обеспечивают его экономичность и эффективность при сжигании.

Работы по разработке твердого композитного топлива начались в начале XX века, но были приостановлены в связи с широким развитием нефтегазового дела [7]. Стоит отметить, что работы связанные с вовлечением низкосортного топлива не является шагом назад, наоборот, это является необходимой мерой, ведь цены на углеводороды неуклонно растут, поэтому необходимы современные методы переработки потенциального энергетического сырья, которое не составит конкуренцию современным энергоносителям, но позволит частично заменить их. Поэтому исследования в данном направлении являются актуальными.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Торф не нашел широкого применения, в силу дороговизны производственного цикла, основные этапы которого включает в себя [7]:

1. добыча,
2. сушка,
3. добавление связывающего материала,
4. добавление более энергетически ценного сырья,
5. фабрикация топлива,
6. сушка.

Все это в значительной мере увеличивает цену производства единичного количества продукта, что делает его применение экономически нецелесообразным в сравнении с нашедшим широкое применение в энергетике углем. Поэтому упрощение и исключение некоторых этапов производства позволит сократить издержки производства.

В работе были следующие упрощения:

1. Исключен этап сушки (использование торфа естественной влажности 85%);
2. Применение не сеяного торфа
3. Применение не сеяных опилок;
4. Отсутствие связывающего вещества.

Топливные брикеты формировались на основе торфа с добавлением древесины. Рассматривались образцы с 10 % и 25 %, 50 %, 75 %, 90 % объемном содержанием опилок в торфе. Навески торфа (Суховское месторождение, размер частиц менее 80 мкм) и опилок (Шегарский район Томской области, размер частиц менее 200мкм), загружались при контролируемых массовых концентрациях в оцинкованный барабан планетарной мельницы Pulverisette 6. Процесс смешения осуществлялся при скорости вращения барабана 500 об/мин в течение семи минут. Процесс формирования топлива, путем прессования, осуществлялся ручным прессом.. следующим этапом выполнялся технический анализ полученных композитных топлив.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

После подготовительных операций определена калорийность и зольность полученных образцов. Результаты приведены в таблице 1.

Табл. 1.

Вещество	Теплота сгорания Q, МДж/кг	Зольность аналитической пробы, %
Опилки	20,932	0,51
Торф	6,236	39,28
10% - Опилки, 90% - Торф	6,464	38,87
25% - Опилки, 75% - Торф	7,558	36,06
50% - Опилки, 50% - Торф	10,054	29,3
75% - Опилки, 75% - Торф	12,801	20,78
90% - Опилки, 10% - Торф	16,287	13,19

Графическая интерпретация результатов изменения калорийности с добавлением опилок представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Изменение калорийности топлива в зависимости от объемной составляющей опилок в образце

При анализе результатов было выявлено, что объемное содержания опилок увеличивает калорийность твердого композитного топлива. Добавление 10 % опилок в топливо позволяет увеличить его калорийность на 4 %, 90 % содержание же опилок в исходном образце увеличивает его калорийность более чем в 2,5 раза.

Одним из важнейших показателей воздействия на окружающую среду при сжигании топлива является зольность. На рисунке 2 представлена зависимость зольности, от изменения топливной составляющей в образце.

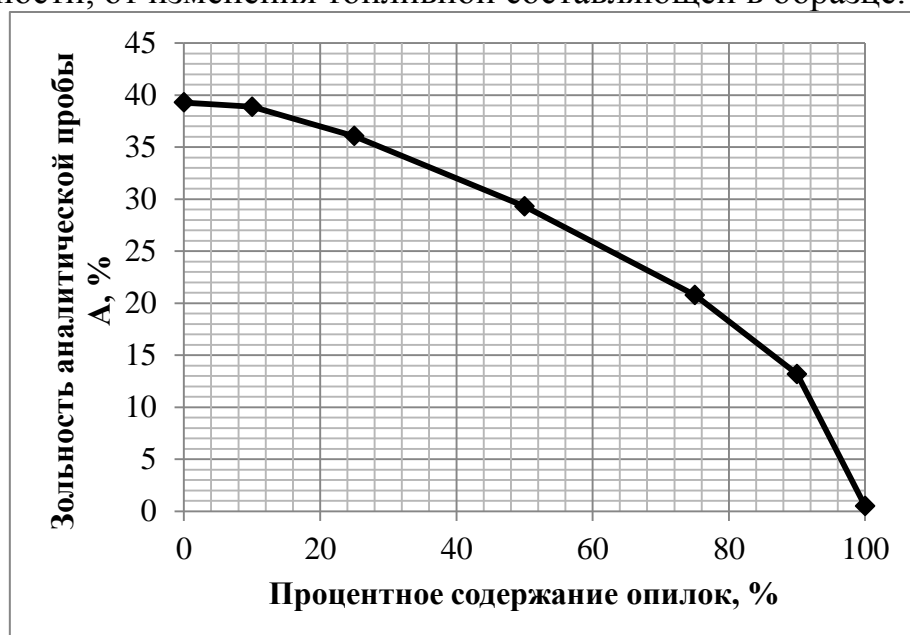


Рис. 2. Изменение калорийности топлива в зависимости от объемной составляющей опилок в образце.

Из рисунка 2 видно, что при увеличении содержания продуктов лесопереработки в композитном топливе, ведет к существенному снижению зольности.

При добавлении 10 % опилок зольность уменьшается на 1%, при увеличении опилок же до 90 % зольность снижается более чем на 66 %. Полученные результаты позволяют сделать вывод о положительном влиянии на энергетические характеристики твердого композитного топлива на основе торфа и опилок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опробован процесс получения твердого композитного топлива на основе низкосортного сырья (торфа). Изучены методы повышения энергоэффективности данного вида топлива, путем добавления в состав продуктов переработки лесозаготовительной промышленности. Применен метод, позволяющий исключить из производственного процесса дорогостоящие этапы формирования топливных пеллет. Отсутствуют связывающие материалы, этап сушки. Все исследования проводились с исходным состоянием сырья, а именно торф с естественной влажностью. Данные упрощения позволяют получать более дешевое твердое композитное топливо, что в свою очередь может удешевить процесс формирования.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о том, что композитное топливо на основе торфа и опилок пригодно для сжигания на энергетическом оборудовании малой энергетики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715р. – 144 с. 2.
2. Саркисян В.А. Концепция использования торфа в энергообеспечении регионов России // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 56–57.
3. Тимофеева С.С. Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике. С. 46–55 Известия Томского политехнического университета Выпуск № 4 / том 325 / 2014
4. Табакаев Р.Б. Теплотехнология получения твёрдого композитного топлива из низкосортного органического сырья. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск 2015
5. Лаптев А.Г., Лаптедудльче Н.К., Сергеева Е.С. Комплексное использование торфа в энергетике // Труды Академэнерго. – 2007. – № 4. – С. 28–31.
6. Каталог «Научно-технические разработки в области переработки торфа» — Томск: Издательство «Ветер», 2013. — 60 стр.
7. Кулеш Р.Н., Субботин А.Н. Экспериментальное исследование параметров зажигания торфа в условиях его промышленного складирования // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4. – С. 15-20.
8. Nunes LJR, Matias JCO, Catalo JPS. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. Renew Sustain Energy Rev. 2014;40:153–60. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.181.

СЕКЦИЯ 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРА ТОКА ПОТРЕБЛЕНИЯ

А.А. Петрушкин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г5А

Введение

В настоящее время основным атрибутом крупных промышленных предприятий являются станки с числовым аппаратным управлением. Стабилизация частоты вращения шпинделя таких станков является одним из главных параметров, влияющих на качество продукции.

Существует множество направлений в развитии измерений частоты вращения коллекторного двигателя без датчика вращения. Основной идея данных методов заключается в том, что информация о скорости вращения двигателя может быть получена из формы тока потребления и напряжения на двигателе. Далее с помощью компаратора можно получить прямоугольный сигнал из которого вычисляется период колебаний, либо число импульсов в заданном промежутке времени [1].

В данной работе представлен синтез метода измерения частоты на основе спектра тока потребления с использованием узкополосного управляемого фильтра для получения синусоидальной формы на входе компаратора.

Модуль УПФ

На начальном этапе форма тока потребления содержит в себе наводки от коммутации и высокочастотные помехи от ключа ШИМ. Для получения качественной синусоиды на входе АЦП применяется управляемый узкополосной фильтр, разностное уравнение которого имеет вид [2]:

$$y(t + \Delta t) = 2y(t) - y(t - \Delta t) - a_d y(t) + b_d (x(t) - x(t - \Delta t) - y(t) + y(t + \Delta t)),$$
$$a_d = \Delta t^2 a; b_d = b \Delta t \quad (1)$$

Добротность контура связана с полоской пропускания выражением

$$q = \frac{f_f}{f_2 - f_1}, \quad (2)$$

f_f - коэффициент передачи на частоте резонанса.

Частота УПФ вычисляется с помощью РІ — регулятора.

Передаточные функции УПФ

а) по форме тока

$$W(s) = \frac{kbs}{s^2 + bs + a},$$
$$a = (2\pi f_f)^2, b = \frac{2\pi f_f}{q}. \quad (3)$$

k - коэффициент передачи на частоте f_f ;

б) по изменению частоты

$$W_{o1} = \frac{1}{1 + T_{f1}s} \quad (4)$$

T_{f1} - время инерции фильтра.

Время инерции фильтра может быть вычислено по формуле

$$T_{f1} = \frac{2}{b} = \frac{q}{\pi f_f} \quad (5)$$

Инерционность увеличивается пропорционально с количеством усреднения первой гармоники. Увеличение добротности фильтра может стать причиной сложности вычисления первой гармоники. Также высокая добротность увеличивает время затухания колебаний от прежней частоты вращения или собственной резонансной частоты УПФ. Поэтому для передаточной функции разомкнутой цепи автоматического регулирования частотой фильтра (6) нужно выбрать время интегрирования регулятора при $T_i = T_{o1} = T_{o2}$.

$$W(s) = \frac{k_p(1 + T_i s)}{T_i s(1 + T_{o1}s)^2} \quad (6)$$

Структурная схема модуля настройки частоты представлена на рис. 1

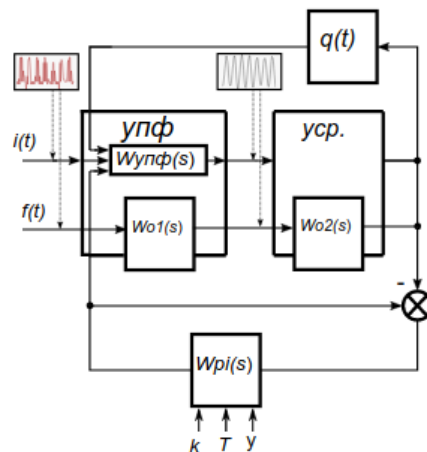


Рис. 1. Структурная схема модуля настройки частоты

После успешного установлении частоты первой гармоники можно точно настроить частоту УПФ и увеличить добротность фильтра, что улучшит качество синусоиды.

Настройка модуля УПФ

Алгоритм слежения за первой гармоникой можно бы было выполнить используя быстрое преобразование Фурье. Однако такой метод требует значительных вычисления и объема памяти для сохранения измеренного ряда во времени и вычисления спектра сигнала. Для уменьшения памяти для вычисления можно использовать целочисленную арифметику, где значения можно хранить в виде нормальных дробей.

В данной работе суть алгоритма поиска первой гармоники осуществлен с помощью вычисления мощности на выходе УПФ. При поданном напряжении на двигатель частота УПФ настраивается на минимально возможную частоту первой гармоники. На выходе УПФ вычисляется и фиксируется мощность сиг-

нала. При приближении частоты настройки к частоте первой гармоники мощность сигнала будет возрастать, а при удалении уменьшаться. Преимущество метода заключается в том, что для вычислений достаточно зафиксировать 3 или 4 характерные точки спектра. Структурная схема такого модуля показана на рис. 2.

Условие корректного вычисления области частоты первой гармоники:

$$f_f = f(p_3), \begin{cases} P(p_1) > P(p_2), \\ P(p_3) > 3P(p_2), \\ P(p_3) > 3P(p_4). \end{cases} \quad (7)$$

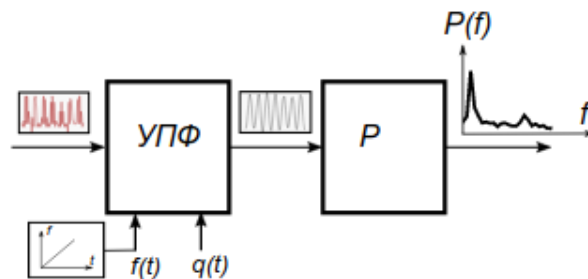


Рис. 2. Блок настройки частоты с помощью вычисления мощности на выходе УПФ

Измерение возможно даже если частота первой гармоники не входит в полосу пропускания фильтра. Такая ситуация может произойти при резком изменении частоты или нагрузки. В этом случае алгоритм повторит процедуру поиска частоты первой гармоники в более широком диапазоне. Вычисление первой гармоники УПФ представлена на рис. 3.

Для выполнения эксперимента была собрана схема на базе Arduino Nano с процессором AtMega328. Основное программное обеспечение собрано на прерываниях от последовательного порта на стандартной скорости 57600 Кбод с одним стоп битом.

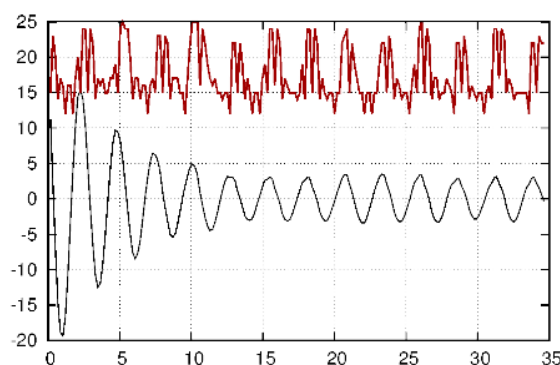


Рис. 3. Вычисление первой гармоники на выходе УПФ

Заключение

Таким образом, в результате работы была получена действующая модель датчика скорости, выполненного на базе Arduino Nano с процессором AtMega328. Преимущество такого датчика заключается в том, что управляемый УПФ не требует вычислять и анализировать спектр тока в рабочем режиме, что позволяет сократить объем вычислений. Метод измерения частоты оборотов

двигателя по форме тока потребления не зависит от результатов вычисления момента на валу; [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Afjei E., Ghomsheh A., Karami A. Sensorless speed/position control of brushed dc motor. In: International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion ACEMP'07 Join Conference, 2007, pp.730-732.
2. E. Tlelo-Cuautle, Integrated circuits for analog signal processing. Springer New York LLC, 2013.
3. Zhan. W. Sensorless speed control for dc permanent magnetic motors. In: Proceedings of the 9th IASTED International Conference on Control and Applications, 2007, pp. 116-120.
4. Sai Dinesh P., Ananthapadmanabha J., Aravid V., Nair A., Dutta S., Vikram V., Aditya K., Sankar B., Freeman J. Low cost and real time electronic speed controller of position sensorless brushless dc motor. In: Proceedings of the 2010 5th International Conference on Informaation and Automation for Sustainability, 2010, pp. 329-334.

Научный руководитель: А.А. Шилин , д.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МЕТОДОЛОГИЯ СОГЛАСОВАНИЯ ARDUINO КОНТРОЛЕРОВ С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

А.Н. Устименко, Д.А. Ким
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г5А

SCADA процесс сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами. Диспетчерское управление и сбор данных (SCADA Supervisory Control And Data Acquisition) является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях.

Применение контролеров SCADA систем за счет их дороговизны в учебных целях считаю нецелесообразным в виду его стоимости. Предлагаю согласовать Arduino контролеры с исполнительными устройствами разных типов, для учебных заведений в области автоматизации – это отличный инструмент для практических занятий. Ни для кого не секрет, что на платформе Arduino создаются очень много прототипов будущих промышленных, медицинских и научных устройств. Уже созданы промышленные образцы контроллеров, совместимых с Arduino.

В данной статье рассматривается согласование дешевых контроллеров, например, Arduino Nano, который показан на рисунке 1 и даны технические характеристики в таблице 1, с преобразователем частоты для асинхронных двигателей, типа Altivar 58.

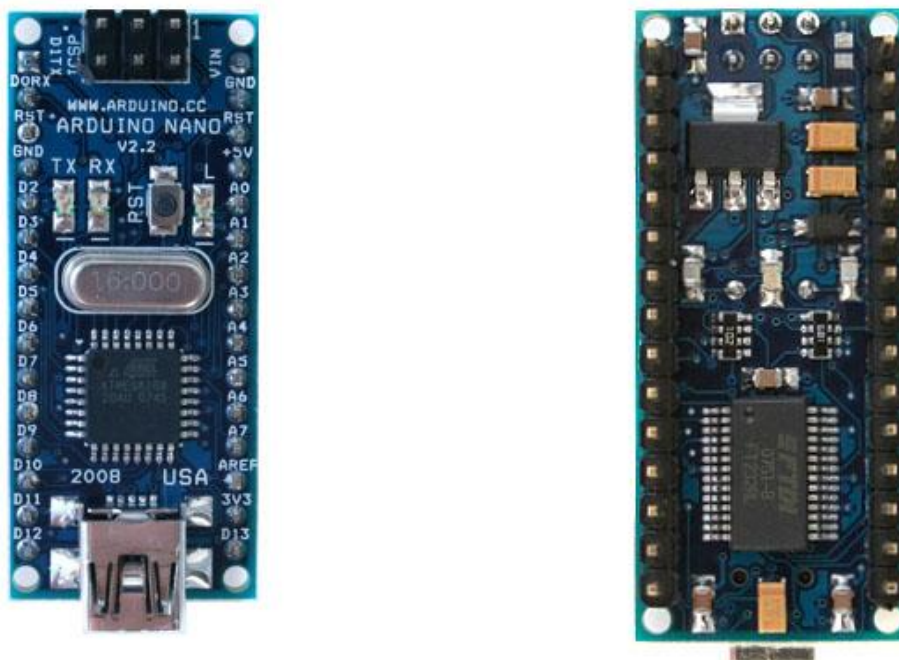


Рис. 1. внешний вид контролера Arduino Nano

Табл. 1. Технические характеристики Arduino Nano

Микроконтроллер	Atmel ATmega168 или ATmega328
Рабочее напряжение (логическая уровень)	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	8
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Флеш – память	16 Кб (ATmega168) или 32 Кб (ATmega328) при этом 2 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	1 Кб (ATmega168) или 2 Кб (ATmega328)
EEPROM	512 байт (ATmega168) или 1 Кб (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Для того что бы подключить частотный привод к дешевому контролеру, типа Arduino Nano, нужно в соответствии с принципиальной схемой, которая показана на рисунке 3, найти контакты, которые поддерживают сигнал ОС, посмотреть на номер, это 13 и 14 контакты, это будет номер таймера, который

нужно настроить, настраивается таймер на частоту 20 КГц, фильтр настроен на 1 сек, т.е. сигнал почти не будет меняться.

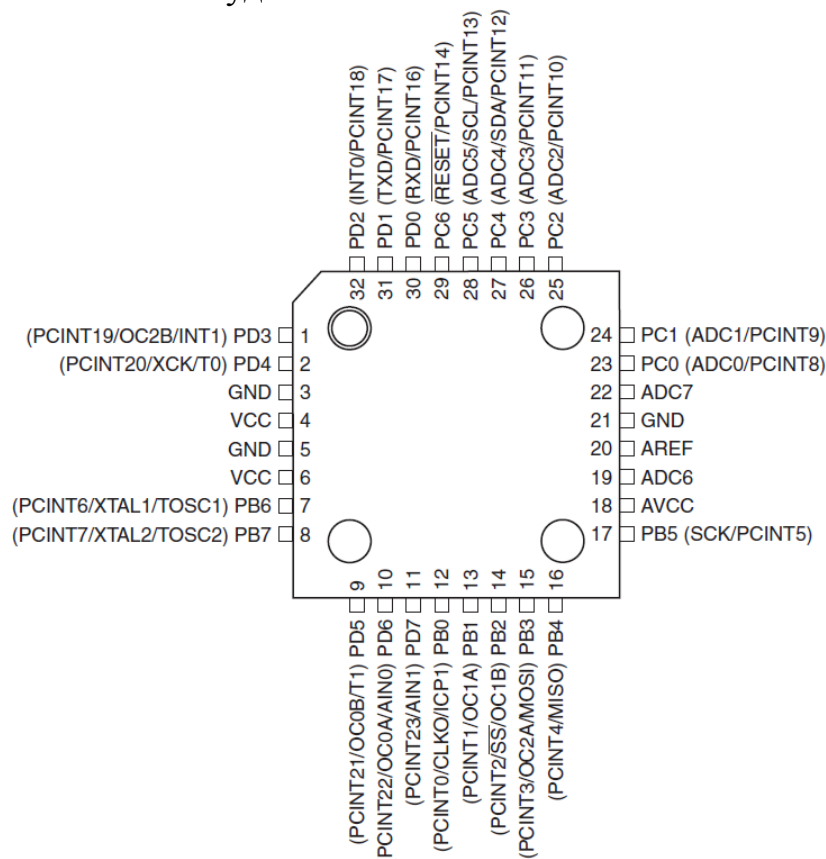


Рис. 3. Схема контролера

В принципе к любому дешевому процессору, который содержит в себе таймер и Waveform на OSC, схема которого показана на рисунке 4, мы можем подключиться.

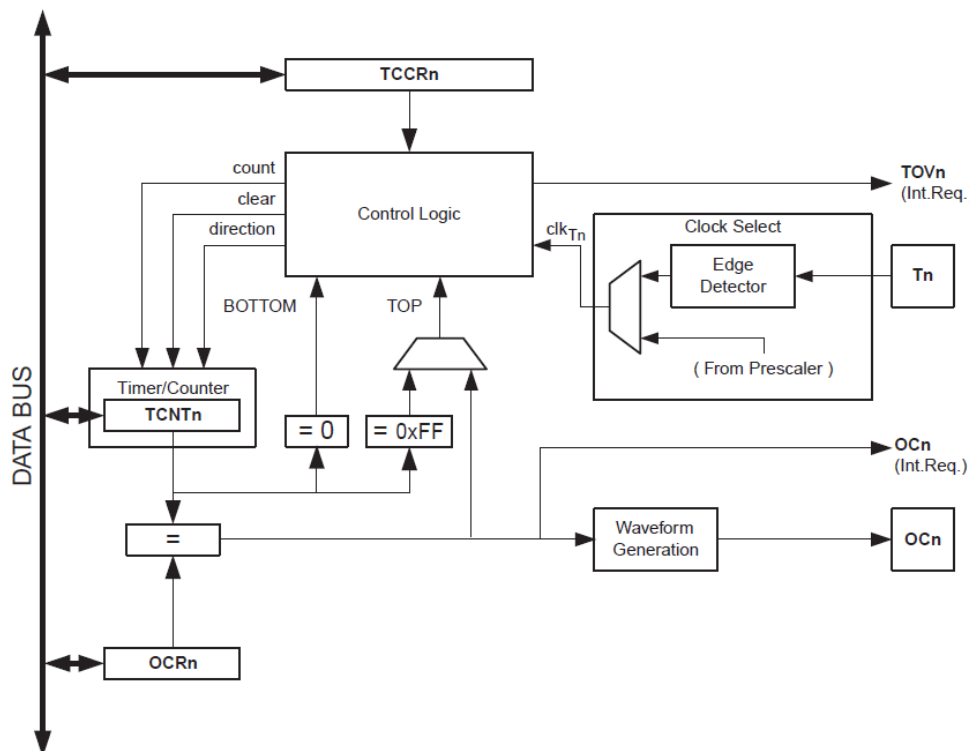


Рис. 4. Схема

Мы находим ногу, находим OSC, смотрим первый или второй таймер, настраиваем тот самый таймер на частоту 20 КГц и в регистре ОС, который там есть, сравнивая, значение амплитуды сигнала, который удовлетворяет формуле

$$U = 10V \cdot \frac{OCRn}{2^8}$$

8 битный таймер, то OCR и его номер, на одном таймере может быть до 4 выходов.

Мы можем организовать широтно–импульсный сигнал, изменяя длительность импульса при постоянной частоте следования импульсов, возможно управление подачей мощности к нагрузке, он работает просто, этот счетчик считает, а регистр OCL сравнивает значения, как только он больше у нас положительный сигнал, как меньше он отрицательный, с помощью настройки мы можем инвертировать это сигнал. Мы можем организовать 10%, 50% и 90% импульс, здесь у нас появится широтно–импульсный сигнал, которая показана на рисунке 5, с необходимой настраиваемой частотой, есть тактовый генератор позволяет нам выбирать любую частоту.

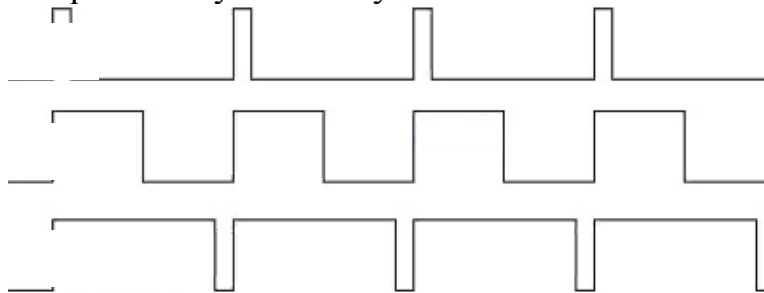


Рис. 5. Широтно–импульсный сигнал

Теперь это не 0 – 10V, а широтно–импульсный сигнал, преобразовать его можно с помощью самых простейших методов, которые уже известны.

Теперь мы имеем право согласовать все необходимое для подключения преобразователя частоты, схема показана на рисунке 6.

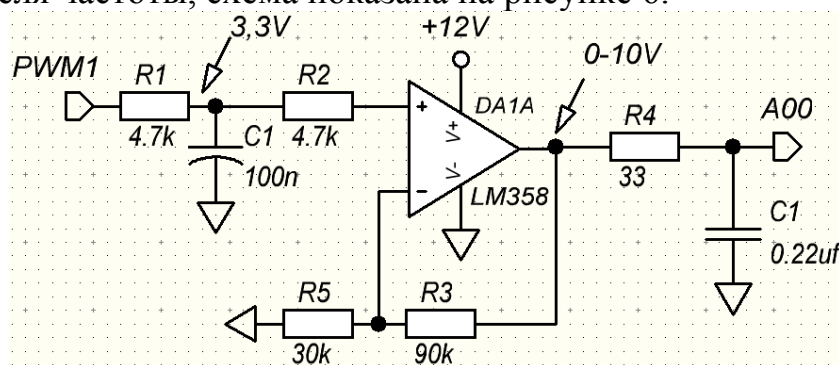


Рис. 6. Схема подключения

Преобразователь Altivar 58 обеспечивает простое и быстрое программирование с использованием макроконфигураций, соответствующих различным видам применения: транспортировочное оборудование, механизмы общего назначения, применение с переменным моментом. Каждая из этих конфигураций является полностью настраиваемой. Имеет последовательный многоточечный интерфейс RS 485 с упрощенным протоколом Modbus, являющимся частью стандартного продукта. Последовательный интерфейс применяется для

связи с программируемыми логическими контроллерами. Имеет 1 аналоговый вход по напряжению AI1: диапазон 0 – 10 В, полное сопротивление 30 кОм, 1 аналоговый вход по току AI2: диапазон 0 – 20 мА, полное сопротивление 100 Ом. Аналоговые входы 10V или 0,20мА, 30кОм, в схеме 30 Ом, потери 0,001% на счет того что входное сопротивление высокое, может управляться и по всяким разным портам, но что бы управлялся с Arduino подключаем, 0 – 10 В, относительно COM подается 0 – 10 В, можно поставить регулятор, а можно напрямую к Arduino Схема подключения показана на рисунке 7. Увеличение или уменьшение заданного значения скорости с помощью одной или двух логических команд с сохранением или без сохранения последнего задания (функция внутреннего автоматического задатчика).

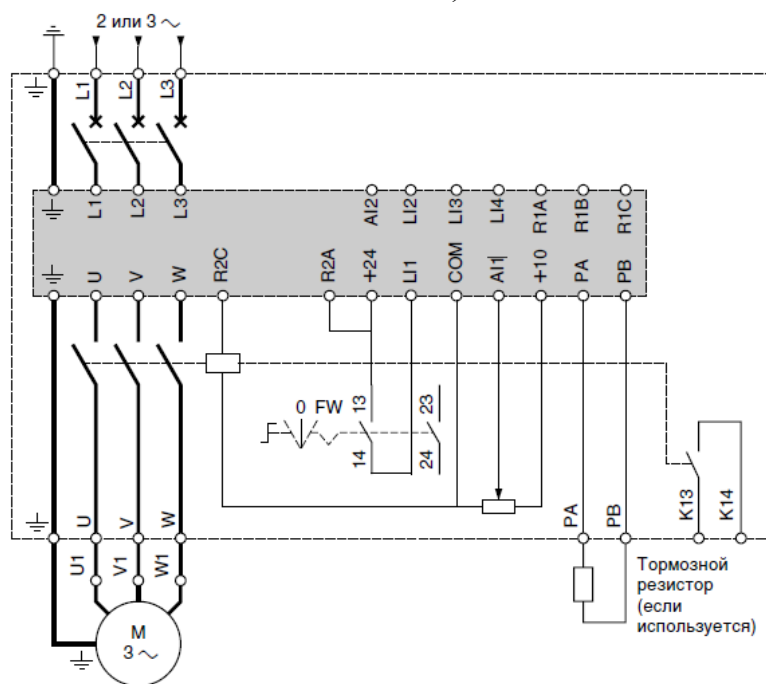


Рис. 7. Схема подключения

Управление частотным приводом как в рамках умный дом, бытовых и промышленных целях и тд, сейчас это доступно для любого процессора.

В статье сформулировано все необходимое для того что бы подключить дешевый процессор к частотному приводу. Это готовая материал, который полезен для тех, кто быстро хочет быстро особо, не вникая подключить привод.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. Москва: Издательский дом МЭИ, 2015 г. – 371.
2. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей. URL: http://vpromelectro.ru/file_upload/966af22567e9a3450c.
3. Электронные компоненты. URL: <http://alldatasheet.com/>.

Научный руководитель: А.А. Шилин, д.т.н., профессор каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ

ЭЛЕКТРОПРИВОД, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧПУ И 3D ПРИНТЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКСКЛЮЗИВНЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.Д. Сидоров, Д.А. Ким
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г5А

Сейчас при разработке различных устройств или стендов в малых компаниях, школах или университетах, возникает проблема создания эксклюзивных деталей.

Такие детали нужны в малом количестве, а иногда и вообще в единственном экземпляре. Возникает вопрос, где их взять. Можно обратиться к заводам. Но тогда, такие детали становятся очень дорогими, потому что заводы составляют специальную документацию и создают детали под заказ, а не в крупносерийном производстве. Хотелось бы получить те же самые детали за более разумную цену.

В данный момент очень распространены ЧПУ станки и 3D принтеры. Их можно встретить как в школах, так и в институтах. С их помощью можно самим создать специальные детали. Это оптимальный вариант решения данной проблемы.

При изготовлении деталей, сначала надо определить под какую нагрузку она будет использоваться. Если нагрузка будет не сильно большой, то можно распечатать деталь на 3D принтере. В другом случае вытачиваем на ЧПУ станке.

Рассмотрим первый способ создания деталей и что для этого нужно.

Первоначально, нужны знания и умение работать в любой из программ трехмерного моделирования. Есть множество различных программ, как платных, так и бесплатных. В качестве бесплатных программ можно назвать OpenSCAD[1], Autodesk Inventor[2] или “Компас”[3]. При хорошем уровне знания 3D редактора, время моделирования занимает минимальное количество времени.

Затем понадобится недорогой 3D принтер, способный печатать ABS и Nylon пластика. Само собой правильно настроенное и откалиброванное устройство. Нужно понимать принцип процесса 3D-печати[4]. Печатающая головка накладывает на столик первый слой объекта. Затем печатающая головка накладывает новый слой материала поверх предыдущего. Этот цикл повторяется до тех пор, пока не будет построен целый объект. Следовательно, нужно понимать, что объект по горизонтальным линиям имеет более высокую прочность чем по вертикальным. Поэтому, перед тем как печатать, надо правильно расположить объект.

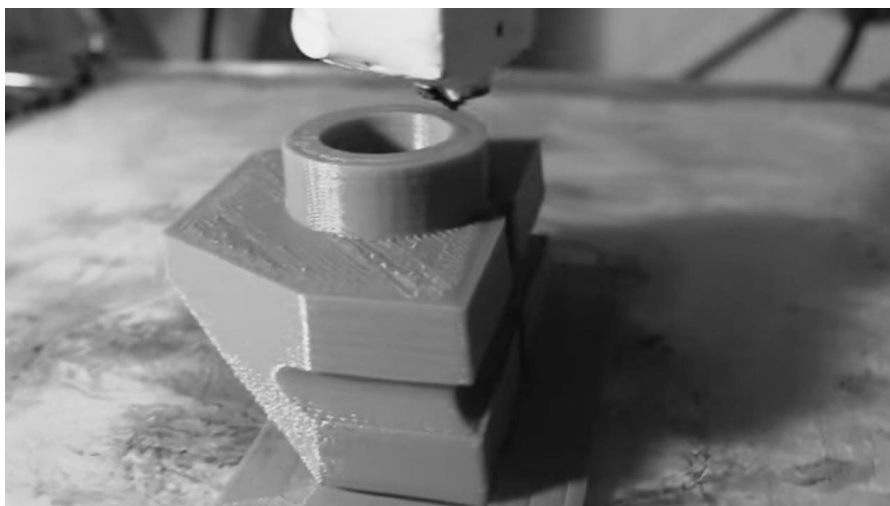


Рис. 1. Деталь напечатанная на 3D принтере.

Рассмотрим второй способ создания деталей и что для этого нужно.

Нам нужен сам ЧПУ станок, на котором мы будем работать.

Надо знать G-код - универсальный язык программирования устройств с ЧПУ. Рассчитывать скорость фрезы в зависимости от материала, из которого будем вытачивать нужную деталь. G-код можно прописывать на разных программных обеспечениях. Они бывают как платные, так и бесплатные. В нашем случае для удешевления деталей будем использовать бесплатные(Intuwiz G-code Generator) [5].



Рис. 2. Деталь вытаченная на ЧПУ станке.

В университете мы собрали свой ЧПУ станок.

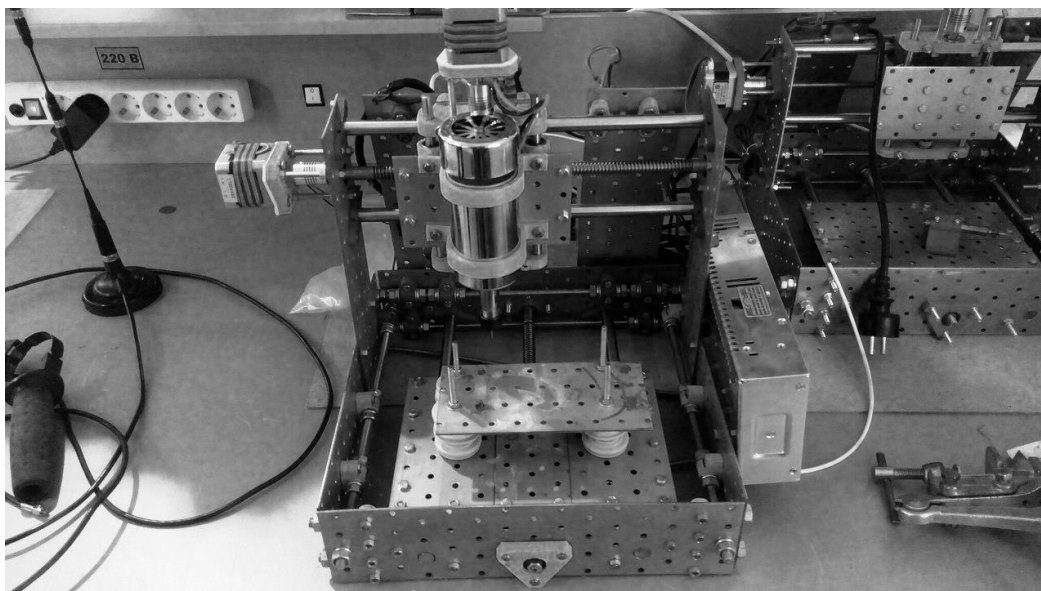


Рис. 3. ЧПУ станок.

Так как он нужен был для личного пользования, и на нем не предполагалась большая нагрузка, было решено напечатать некоторые детали на 3D принтере.

Мы использовали программу OpenSCAD для моделирования деталей.

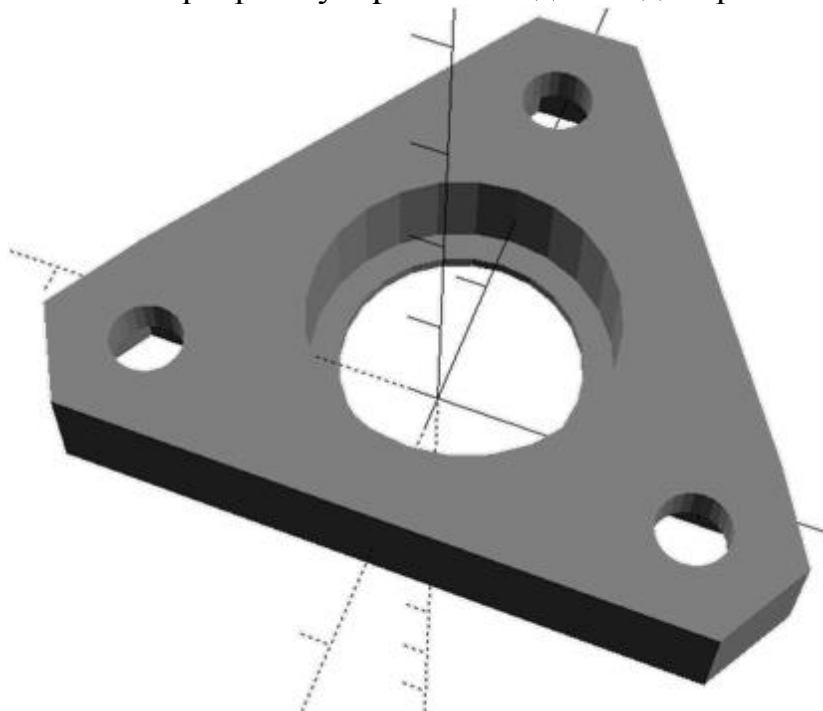


Рис. 4. Модель детали.

Затем мы распечатали наши детали на 3D принтере.

Итак, мы собрали наш станок собственными руками и более дешево. Мы изготовили уникальные единичные детали, одним из самых дешевых способов. Так как пластик для 3D принтеров обошелся дешево.

В этой статье мы показали, какие существуют способы создания эксклюзивных деталей и как удешевить процесс их изготовления. Попытались доказать на примере свой вариант решения создания деталей за небольшую цену.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://www.openscad.org/downloads.html>
2. <https://www.autodesk.ru/products/inventor/free-trial>
3. <http://kompas.ru>
4. <http://3dwiki.ru/kak-rabotaet-3d-printer-bazovye-ponyatiya-i-nekotorye-vazhnye-terminy/>
5. <http://www.intuwiz.ru/services.html#.WbUVi7JJaaE>

Научный руководитель: А.А. Шилин, д.т.н., профессор ЭПЭО ЭНИН ТПУ

ПРИВОД ЭЛЕГАЗОВОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

А.О. Копнов

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г4Б

Актуальность

Элегазовый высоковольтный выключатель – коммутационный аппарат, который применяется для оперативных включений и отключений электрооборудования в энергосистеме или ее отдельных цепей в аварийных или нормальных режимах. Элегазовый выключатель называется так из-за того, что в нем используется элегаз (электрический газ – гексафторид серы SF_6). Помимо элегазовых выключателей бывают и другие типы, такие как масляные, воздушные. Однако в настоящее время элегазовый выключатель пользуется наибольшим спросом в электроустановках класса напряжения 6-220кВ, это связано с тем, что молекулы элегаза способны улавливать электроны дугового столба, в результате чего дуга становится неустойчивой и гаснет. К преимуществам данного типа выключателей можно отнести способность гасить дугу с большим значением тока, чем у воздушного выключателя (примерно в 100 раз, при атмосферном давлении). Также отметим, что элегаз не требует ухода, в отличие от трансформаторного масла. Также дугогасительное устройство довольно простое и малого размера. Гашение дуги производится при небольшом количестве разрывов и достаточно быстро [1].

Обоснование выбора выключателя

В качестве объекта рассмотрения в данной работе был выбран выключатель элегазовый 110 кВ типа LTB145D₁/В (фирма-производитель АВВ). Рассмотрим более подробно элегазовый выключатель типа LTB, его изображение представлено на рисунке 1.



Рис. 1. Выключатель элегазовый 110 кВ типа LTV145D1/V

Элегазовый выключатель представляют собой аппарат с тремя полюсами, которые имеют общую раму и управляются общим приводом. Как вариант, каждый из полюсов выключателя может иметь свою раму и управляться собственным приводом. В 3-х полюсном режиме управления на выключателе LTV применяется всего одна отключающая пружина для отключения всех трех полюсов, причем, эта пружина установлена на полюсе, наиболее удаленном от привода в механизме управления. Каждый полюс представляет собой герметичную заполненную элегазом колонку, которая имеет дугогасительное устройство в изоляторе, пустотелый опорный изолятор и корпус с механизмом для подсоединения управляющих тяг. В данном выключателе применяют автопневматические (автокомпрессионные) дугогасительные устройства, в которых газ в процессе отключения сжимается поршневым устройством и направляется в зону дуги. Элегазовый выключатель представляет собой замкнутую систему без выброса газа наружу.

Привод выключателя

Управление трех- или пополюсное. Для данного выключателя применяется моторно-пружинный привод BLK, показанный на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид шкафа привода

Рассмотрим его принцип действия по этапам.

1. Включенное положение. Контакты выключателя замкнуты, а пружины включения и отключения взведены в нормальном рабочем положении. В этом положении выключатель всегда готов выполнить операцию отключения или цикл полного автоматического повторного включения в следующей последовательности: О – 0,3 с – ВО (О-отключение, В-включение) (рисунок 3).

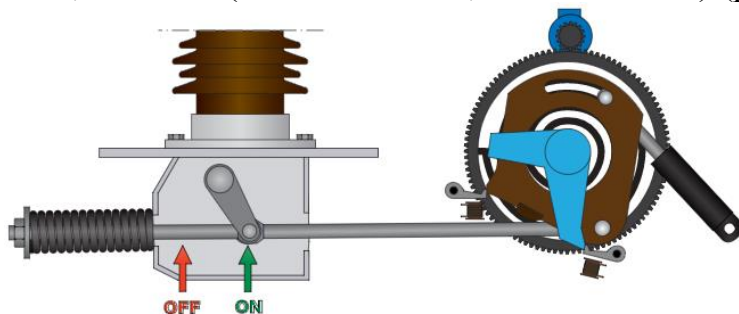


Рис. 3. Включенное положение

2. Операция отключения. При отключении выключателя, катушка отключения освобождает защелку отключения (1), при этом пружина отключения (А) выключателя осуществляет саму операцию. Демпфирующее устройство (2) замедляет движение системы контактов. При операции отключения в выключателе с пружинным приводом существует малая вероятность отказа, поскольку выполнение этой операции зависит только от исправности защелки отключения и пружины отключения (рисунок 4).

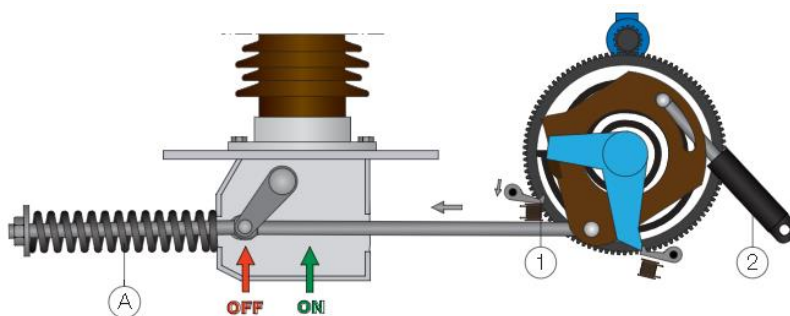


Рис. 4. Отключенное положение

3. Операция включения. Немедленное включение выключателя происходит при освобождении включающей защелки (4). Приводной рычаг (2) переводит направляемый эксцентриком включающий рычаг (3) во включенное положение. Вместе с этим происходит также взведение отключающей пружины (А). В конечном положении включающий рычаг (3) фиксируется отключающей защелкой (1) во включенном положении. Приводной рычаг (2), под действием направляемого эксцентриком рычага (3), освобождается и движется до тех пор, пока не достигнет устойчивого положения (рисунок 5).

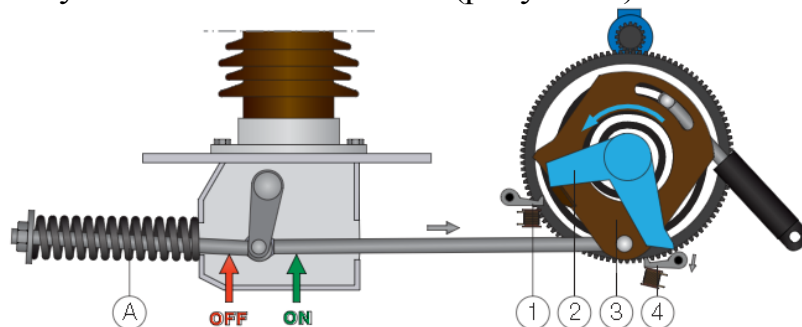


Рис. 5. Операция включения

4. Взвод пружины включения. Выключатель включен. Концевой выключатель подает питание в цепи управления двигателем. Электродвигатель (7) начинает работать и взводит пружину включения (6), при этом положение главного вала (5) и приводного рычага (2) фиксируется включающей защелкой (4). Когда произойдет полное взведение пружины включения, концевой выключатель разомкнет цепь питания электродвигателя. При необходимости включающую пружину можно взводить рукояткой, которая находится в шкафу привода (рисунок 6) [2].

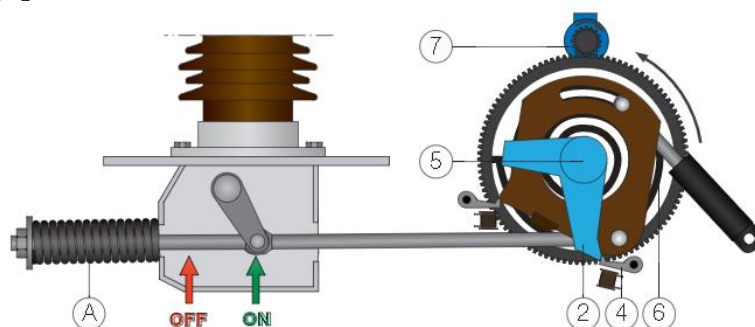


Рис. 6. Взвод пружины включения

Выводы:

В работе было рассмотрено устройство и назначение элегазового выключателя на 110кВ фирмы АББ. В настоящий момент элегазовые выключатели широко распространены в электроустановках класса напряжения 6-220кВ. Подробно был рассмотрен принцип работы моторно-пружинного привода BLK. Эта технология эффективно сочетается с современными методами производства и разработана с минимальным числом компонентов. Такой подход обеспечивает высокую надежность выключателя и требует минимум технического обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Журнал «Новости энергетики» статья за 26.06.11 URL: <http://novostienergetiki.ru/parametry-tipy-i-princip-raboty-vysokovoltnyx-vyklyuchatelej> (Дата обращения 06.09.2017).
2. Выключатели колонковые элегазовые. Справочник покупателя. Компания АББ, 2014 URL: <http://docplayer.ru/27680023-Vyklyuchateli-kolonkovye-elegazovye-spravochnik-pokupatelya.html> (Дата обращения 11.09.2017).
3. Опыт эксплуатации выключателя LTB 145D1/B с приводом BLK 222 (АББ). URL: <http://highvoltageagent.pro/opyit-ekspluatatsii-vyiklyuchatelya-ltb-145d1-s-privodom-blk-222-abb/> (Дата обращения 14.09.2017).

Научный руководитель: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

АДАПТАЦИЯ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ПОИСКОВЫМ МЕТОДОМ

Р.Т. Галемов

Сибирский федеральный университет

Робот–манипулятор является нелинейной динамической системой. Для эффективного управления необходимо знать точные динамические характеристики манипулятора, такие как, например, тензоры инерции звеньев при переменной нагрузке и коэффициенты трения в сочленениях. В реальной практике определение значений этих характеристик является крайне трудозатратным процессом. Их влияние соответствует дрейфу параметров объекта управления. Поскольку структура объекта управления известна и неизменна, а поведение зависит от изменяющихся параметров задача синтеза управления решается в классе самонастраивающихся систем, в которых структура регулятора задана(выбрана) и адаптер осуществляет настройку его коэффициентов, либо формирует компенсирующее(дополнительное) воздействие. В качестве регулятора широко применяется ПИД-регулятор. В качестве адаптеров применяются нейронные сети, нечеткая логика и нейро-нечеткие сети [1-4].

В данной статье представлены результаты применения симплексного инвариантного метода [5] в качестве адаптера.

Схемы систем управления изображены на рис. 1.

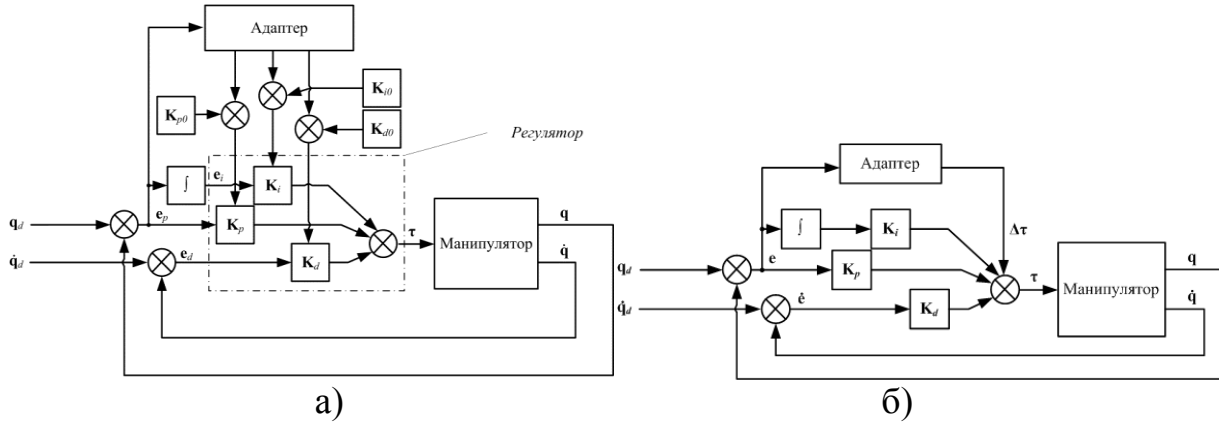


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы управления а) с настройкой параметров, б) с компенсирующим воздействием

Динамика n -звенного манипулятора описывается нелинейным уравнением:

$$\tau(t) = M(q(t)) \cdot \ddot{q}(t) + V(q(t), \dot{q}(t)) + G(q(t)) + F(\dot{q}(t)) \quad (1)$$

где $\tau(t)$ – вектор $n \times 1$ моментов в сочленениях, Нм, $q(t)$ – вектор $n \times 1$ угловых координат в сочленениях, рад, $M(q(t))$ – матрица $n \times n$ инерций звеньев манипулятора, $V(q(t), \dot{q}(t))$ – вектор $n \times 1$ Кориолисовых и центробежных сил, $G(q(t))$ – вектор $n \times 1$ гравитационных сил, $F(\dot{q}(t))$ – вектор $n \times 1$ сил трения в сочленениях.

Параметры уравнения (1) зависят от многих неконтролируемых возмущений, например тензоры инерции звеньев при переменной нагрузке и коэффициенты трения в сочленениях, а, следовательно, изменяются во времени с различной интенсивностью. Регуляторы с настраиваемыми параметрами и с компенсирующим воздействием имеют вид:

$$\begin{aligned} \tau(t) &= (K_{p0} + \Delta K_p(t)) \cdot e(t) + (K_{i0} + \Delta K_i(t)) \cdot \int_0^t e(t) dt + (K_{d0} + \Delta K_d(t)) \cdot \frac{de(t)}{dt} \\ \tau(t) &= (K_{p0}) \cdot e(t) + (K_{i0}) \cdot \int_0^t e(t) dt + (K_{d0}) \cdot \frac{de(t)}{dt} + \Delta \tau \end{aligned} \quad (2)$$

где K_{p0} , K_{i0} , K_{d0} – векторы $n \times 1$ пропорциональных, интегральных и дифференциальных коэффициентов регулятора соответственно, $\Delta K_p(t)$, $\Delta K_i(t)$, $\Delta K_d(t)$ – векторы $n \times 1$ приращении коэффициентов регулятора, $\Delta \tau$ – компенсирующее воздействие, Нм, $e(t) = (q_d(t) - q(t))$ – вектор $n \times 1$ ошибки слежения, рад, $q_d(t)$ – вектор $n \times 1$ заданных значений угловых координат, рад, $q(t)$ – вектор $n \times 1$ текущих значений угловых координат, рад, $\dot{q}(t)$ – измеренный вектор $n \times 1$ значений скоростей, рад/с.

Проведено сравнение приведенных схем адаптации на модели двухступенного манипулятора (рис. 2) с параметрами: $a_1 = 1$, м; $a_2 = 1$, м; $m_1 = 2$, кг; $m_2 = 0.5$, кг; $m_l = 3.75$, кг; $B = 0.3$, где a_j – длина j -го звена, m_j – масса j -го звена, m_l – масса

груза в последнем звене, B – коэффициент трения в сочленениях. Время моделирования $T=20$ секунд, интервал дискретизации $T_0=0.02$ секунды.

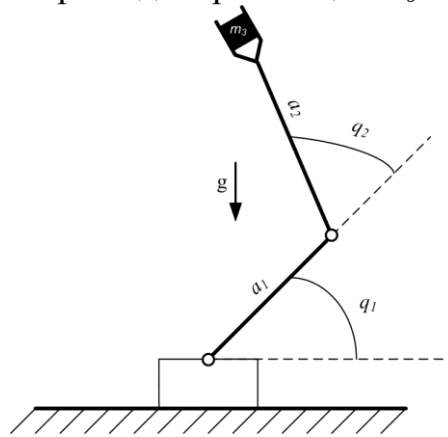
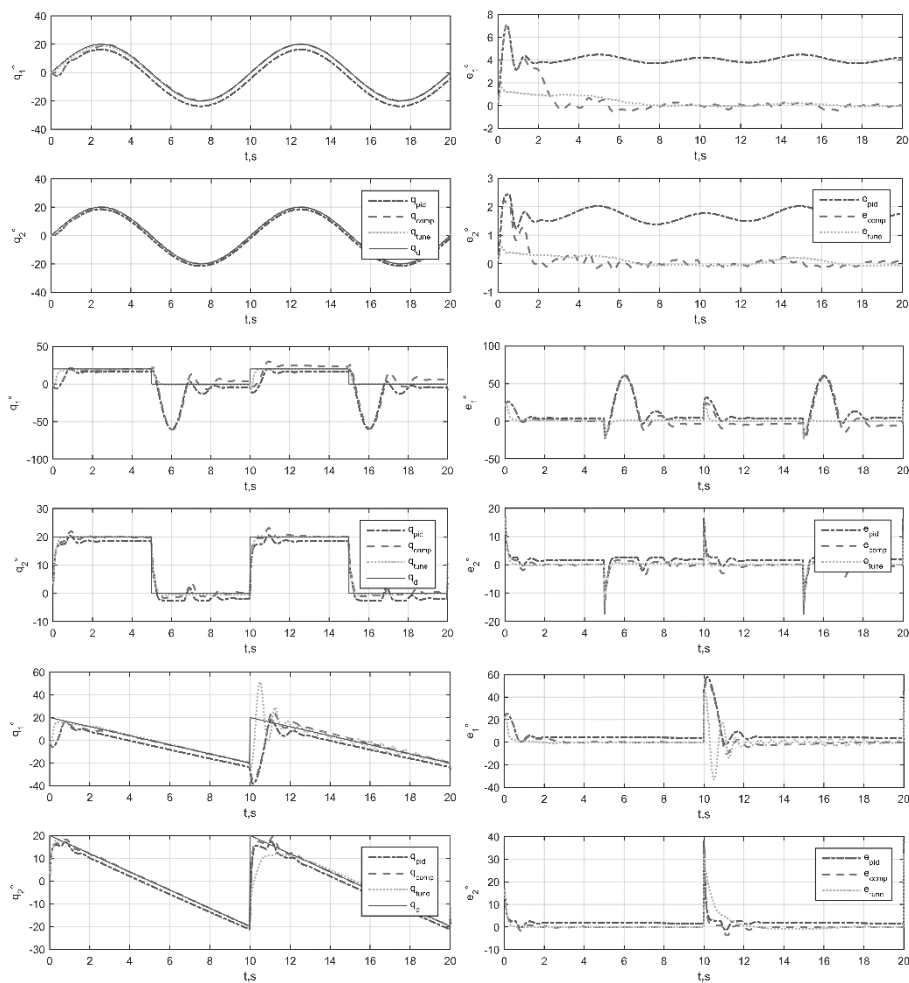


Рис. 2. Кинематическая схема двухзвенного манипулятора

Результаты экспериментов на траекториях представлены на рис.3. На рис.3 а) показаны пройденные траектории обычным ПИД-регулятором q_{pid} , ПИД-регулятором с компенсирующим воздействием q_{comp} , ПИД-регулятором с настройкой параметров q_{tune} и заданные траектории q_d . На рис. 3 б) ошибки для первого и второго звеньев обычного ПИД-регулятора e_{pid} , ПИД-регулятора с компенсирующим воздействием e_{comp} и ПИД-регулятора с настройкой параметров e_{tune} .



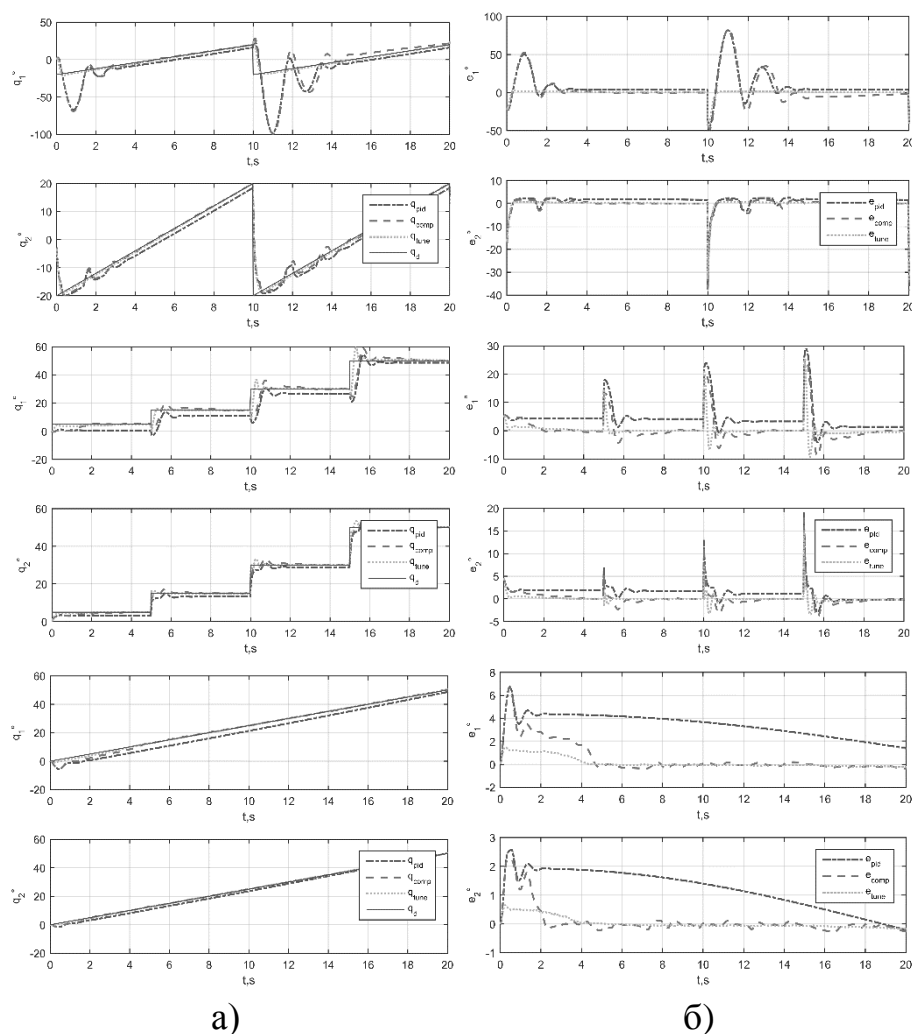


Рис. 3. Результаты управления а) заданная и пройденная траектории. б) ошибка по положению

Из рис.3 видно, что простой ПИД-регулятор имеет ошибку после окончания переходного процесса на всех траекториях. Дополнительное воздействие устраняет постоянную ошибку, но величина перерегулирования и колебания остаются прежними. Настройка параметров адаптером позволяет уменьшить величину перерегулирования, колебания и устранить постоянную ошибку по положению.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Al-Khayyt S.Z. S. Tuning PID Controller by Neural Network for Robot Manipulator Trajectory Tracking //Al-Khwarizmi Engineering Journal. – 2013. – Т. 8. – №. 1. – С. 19-28.
2. Razmi H.A., Kashtiban H.M. Nonlinear PID-based analog neural network control for a two link rigid robot manipulator and determining the maximum load carrying capacity //Int. J. Soft Comput. Eng. – 2012. – Т. 2. – №. 1. – С. 228-234.
3. Tang K.S. et al. An optimal fuzzy PID controller //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2001. – Т. 48. – №. 4. – С. 757-765.

4. AL-Saedi M.I., Wu H., Handroos H. ANFIS And fuzzy tuning of PID controller for trajectory tracking of a flexible hydraulically driven parallel robot machine //Journal of Automation and Control Engineering. – 2013. – Т. 1. – №. 3. – С. 70-77.
5. Круг Г.К., Масальский Г.Б. Симплексный инвариантный метод экспериментальной оптимизации // Вопросы кибернетики, планирование эксперимента и оптимизация в системах управления: под ред. Г.К. Круга, А.П. Вощина.- 1981.- N 84.- , С.3-32.

Научный руководитель: Г.Б. Масальский, канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой Робототехника и техническая кибернетика ПИ СФУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

В.С. Буда, Т.Р. Рустемов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г4Б

Высоковольтный выключатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения электрических цепей в нормальных и аварийных режимах работы электроустановки, с параметрами, не превосходящими нормированных значений для данного выключателя. Вакуумные выключатели состоят из вакуумных дугогасительных камер (ВДК), приводов с приводными механизмами и схем управления.

Цель работы: изучение конструкций вакуумных выключателей.

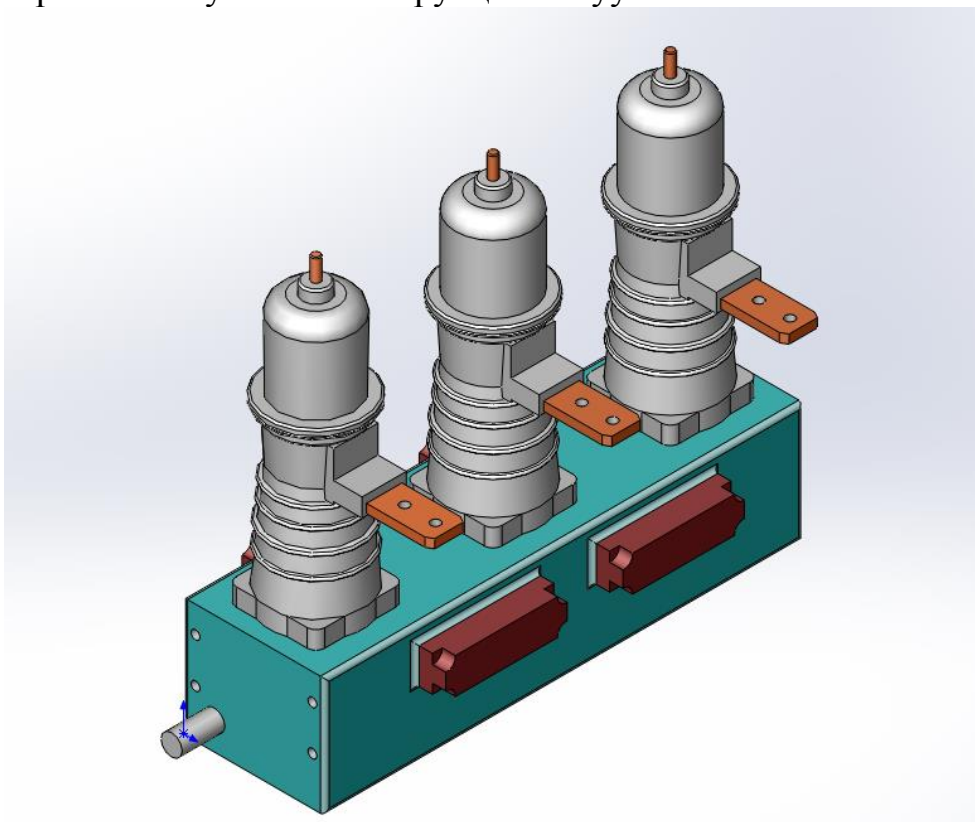


Рис.1. Вакуумный выключатель ВВК-35Б-20/1000У12

Вакуумные дугогасительные камеры являются важнейшей частью выключателей, определяющей их технические характеристики. Из-за низкой надежности воздушных линий вероятность короткого замыкания на одном из участков была достаточно велика и грозила выходом из строя всей линии. Решением стало так называемое «секционирование» – разделение воздушной линии на секции с возможностью вывода из эксплуатации только аварийного участка на время ликвидации аварии.

Принцип действия. На рис. 1, а показан общий вид вакуумного выключателя ВВК-35Б-20/1000У1, предназначенного для частых коммутаций в нормальных и аварийных режимах в электроустановках 35кВ. Выключатель рассчитан на открытую установку. На общей раме крепятся с помощью фарфоровых изоляторов три полюса. В каждом полюсе в фарфоровом изоляторе 3, армированном фланцами 2 и 6, заключена дугогасительная камера 5. Для надежной изоляции полюсы заливаются маслом, и в крышке 1 имеется маслоуказатель. Механизм привода полюса 8 тягами 7 и 4 связан с подвижным контактом. Гашение дуги осуществляется в вакуумной камере.

В глубоком вакууме дугогасительной камеры выключателя длина свободного пробега молекул и электронов составляет десятки и сотни метров, т. е. во много раз больше, чем расстояния между контактами выключателя. Ударная ионизация в вакуумном промежутке практически отсутствует, поэтому вакуумный промежуток не может служить источником заряженных частиц. Заряженные частицы могут появиться при определенных условиях с поверхностей контактов и других частей вакуумной камеры.

Преимущества и недостатки. Достоинства вакуумных выключателей: простота конструкции; высокая степень надежности, высокая коммутационная износостойкость, малые размеры, пожаро- и взрывобезопасность, отсутствие шума при операциях; отсутствие загрязнения окружающей среды, малые эксплуатационные расходы.

Недостатки вакуумных выключателей: сравнительно небольшие номинальные токи и токи отключения, возможность коммутационных перенапряжений при отключении малых индуктивных токов. Материал контактов оказывает большое влияние на характеристики выключателя. В настоящее время применяют сплавы меди и хрома или меди с небольшими количествами висмута, железа и бора. Эти сплавы отличаются более высокой электро- и теплопроводностью по сравнению с ранее применявшимися тугоплавкими материалами, например вольфрамом.

Для увеличения отключаемого тока используются различные конструкции контактов, такие, как спиральные лепестковые, «загнутый лепесток» и др. Конструкции контактов приведены на рис. 2 и 3.

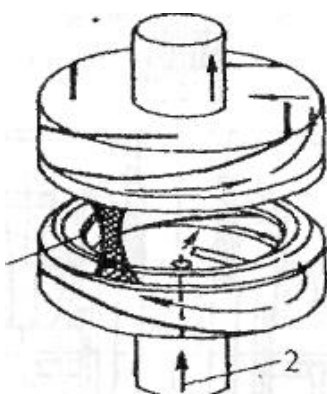


Рис. 2. Форма контакта «загнутый лепесток»: 1 - вращение сжатой дуги;
2 - путь тока

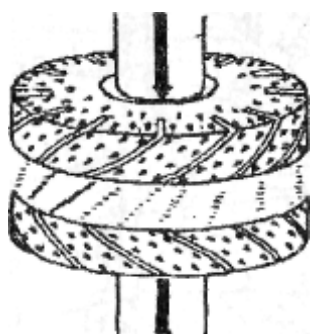


Рис. 3. Распределение тока по контактам: *a* - диффузная дуга, ток менее 10 кА

Спиральные лепестковые контакты имеют обычно только три или четыре прорези вследствие высокой эффективности обеспечения движения дуги в нужной плоскости; их недостатки обусловлены высокой стоимостью изготовления и плохой локализацией дуги. Доказана возможность сочетания наилучших свойств различных геометрий, дающих новый тип контакта – «загнутый лепесток». Он имеет прорези, сделанные в стенках, которые по касательной продолжаются на основании контакта, при этом достигается продвижение дуги от основания (как в спиральном лепестковом контакте) и от стенок. Кроме того, в нем сбалансированы электромагнитные поля, чтобы добиться хорошего размещения дуги на кольце контакта.

Конструкция этого контакта обеспечивает адекватное перемещение дуги при наличии только трех или четырех прорезей и оказывается значительно более эффективной при отключении токов, чем все предшествующие. При использовании контакта с диаметром 35 мм имеется возможность отключать ток 20 кА. Такой контакт дешевле в изготовлении и позволил разработать ДУ, имеющие существенно меньшие габариты и стоимость.

Выводы:

В последние годы, кроме хорошо зарекомендовавших себя масляных и воздушных выключателей, в энергосистемах начали применяться выключатели, действие которых основано на совершенно новых принципах гашения дуги. К ним относятся вакуумные выключатели, которые имеют большие перспективы применения. Им присущи в первую очередь:

- устойчивость к электромагнитным воздействиям по критерию качества функционирования «А»;

- простота монтажа и эксплуатации;
- отсутствие необходимости в проведении текущих, средних и капитальных ремонтов на протяжении всего срока службы;
- малые массогабаритные показатели.
- Вакуумная дугогасительная камера не нуждается в пополнении дугогасящей среды, что снижает, в том числе, расходы на эксплуатацию вакуумного выключателя.
- Плотность отказов вакуумных выключателей ниже на порядок по сравнению с традиционными выключателями (масляными, электромагнитными).
- Бесшумная работа
- Отсутствие выбросов в атмосферу
- Плотная герметизация устройства

ЛИТЕРАТУРА:

1. Выключатель вакуумный ВВ/TEL: техническая информация / Российская группа компаний Таврида Электрик.
2. [http://www.mrsk Sib.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=186:indikatoriy-otyskaniya-neispravnostej-na-vl&catid=970&Itemid=3402&lang=ru55].
3. [<http://aist.sibproject.ru:81/tgmain?doc&nd=545477099&nh=1>].
4. [<https://prokcssmedia.blob.core.windows.net/sys-master-images/.pdf>]

Научный руководитель: К.В. Образцов, ассистент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МАШИННО-ВЕНТИЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А.В. Глазачев¹, Ю.Н. Дементьев¹, К.Н. Негодин², В.И. Суздорф³

Томский политехнический университет^{1,2}

ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ6Ж²

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет³

Введение.

Одной из важнейших задач при создании машинно-вентильных источников (МВИ) для систем автономного децентрализованного энергоснабжения является обеспечение потребителя электрической энергией, параметры которой соответствуют необходимым стандартам качества [1]. Основными показателями качества автономных источников электроснабжения являются номинальные значения выходного напряжения и частоты. Колебание напряжения питания, отклонения токов и нагрузки являются причиной выхода из строя дорогостоящего оборудования. Поэтому разработка и исследование схем машинно-

вентильных источников (МВИ), являющихся важнейшим элементом систем автономного децентрализованного энергоснабжения и обладающих возможностью стабилизации выходных электрических параметров, является своевременной и актуальной задачей.

Комбинированная схема МВИ со стабилизацией выходных параметров

Анализ существующих способов стабилизации выходных электрических параметров (амплитуды и частоты выходного напряжения) систем «электромашинный генератор - статический преобразователь частоты» показал, что при формировании синусоидального выходного напряжения с помощью электромашиного генератора (ЭГ) наиболее перспективным способом регулирования выходного напряжения при широком изменении скорости вращения ротора генератора и значений потребляемой мощности, является регулирование напряжения обмоток возбуждения ЭГ [2, 3].

Стабилизация выходного напряжения машинно-вентильного источника (МВИ) в этом случае может осуществляться по нескольким каналам: по цепи обмотки возбуждения (ОВ) постоянного тока; по цепи ОВ переменного тока; по цепи статического преобразователя частоты с непосредственной связью. При этом имеется возможность одновременного использования двух или всех каналов управления, позволяющих стабилизировать выходные напряжения и частоту, и плавно регулировать глубину амплитудной модуляции.

Функциональная схема МВИ комбинированного типа, в которой стабилизация выходного напряжения возможна отдельным либо одновременным использованием каналов управления, представлена на рисунке 1.

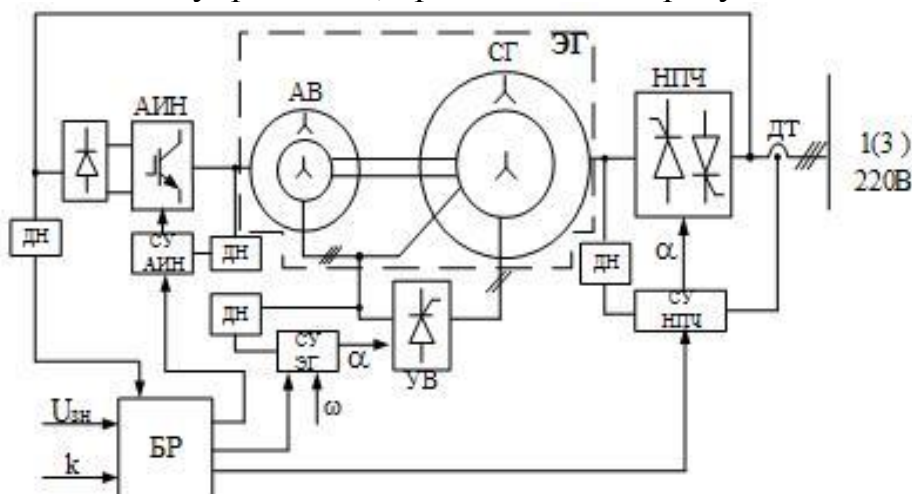


Рис.1. Функциональная схема МВИ со стабилизацией выходных параметров комбинированного типа.

Здесь электромашиный генератор модуляционного типа (ЭГ), состоит из синхронной машины – синхронного генератора (СГ) и асинхронного возбуждителя (АВ), размещенных на одном валу и выполненных в одном корпусе. Обмотки электрических машин ЭГ выполнены с различным числом пар полюсов, что позволяет обеспечить независимость частоты выходного напряжения от скорости вращения вала. ОВ СГ подключена к обмотке ротора АВ через управляемый выпрямитель (УВ). Обмотка статора АВ подключена к автономному

инвертору напряжения, а обмотка якоря СГ к преобразователю частоты с непосредственной связью (НПЧ). На роторе СГ уложена трехфазная дополнительная обмотка, подключенная к роторной обмотке АВ. Выходная обмотка якоря СГ выполнена в виде трех однофазных обмоток с полным шагом, сдвинутых в пространстве на угол $\frac{2\pi}{3}$ эл. градусов. ЭГ работает на трехфазно-однофазный статический преобразователь частоты с непосредственной связью (НПЧ). НПЧ имеет свою систему управления с неизменными углами управления (α) и выполняет роль демодулятора выходного напряжения СГ. Угол управления НПЧ формируется с помощью сигналов, получаемых с датчика тока (ДТ) и напряжения (ДН) [4, 7, 8].

В схеме МВИ, использующую стабилизацию выходного напряжения по цепи обмотки возбуждения постоянного тока, система управления (СУ) автономного инвертора напряжения (АИН) с ШИМ имеет неизменный сигнал задания частоты и амплитуды тока возбуждения АВ, который не зависит от выходного напряжения и частоты МВИ. Входными сигналами СУ ЭГ являются: скорость приводного вала ω и заданное значение напряжения $U_{\text{зн}}$, которое сравнивается с текущим значением амплитуды выходного напряжения (в блоке формирования разницы (БР)). Регулирование амплитуды выходного напряжения МВИ осуществляется путем изменения угла управления УВ, включенного в цепь ОВ постоянного тока ЭГ.

В схеме МВИ, реализующего способ стабилизации выходного напряжения по цепи ОВ переменного тока регулирование напряжения на выходе МВИ осуществляется с помощью АИН, включенного в цепь статора АВ. При этом, в цепи ОВ постоянного тока СГ может быть применен вместо управляемого (УВ), неуправляемый выпрямительный преобразователь, однако это накладывает определенные ограничения при использовании подобного МВИ, так как отсутствие возможности коррекции тока подмагничивания СГ сокращает эффективный диапазон стабилизации выходного напряжения при изменении скорости вала СГ [5].

Совместное использование этих способов стабилизации в МВИ дает возможность повысить точность регулирования и увеличить диапазон изменения скорости вращения приводного вала при одноканальной системе возбуждения ЭГ.

В приведенной выше схеме МВИ при вращении ротора и питании обмотки АВ от автономного инвертора с ШИМ в роторной обмотке АВ индуцируется ЭДС. В обмотке якоря СГ индуцируется ЭДС от ОВ постоянного тока. Дополнительно уложенная трехфазная обмотка СГ, а также ОВ СГ через УВ являются нагрузкой для АВ. Сложение двух индуцируемых ЭДС в якорной обмотке СГ приводит к возникновению результирующей ЭДС, амплитуда которой изменяется с частотой биений. В результате выделения огибающей напряжения на выходе МВИ с помощью НПЧ, получаем частоту биений независимую от скорости вращения вала. Но при этом необходимо, чтобы число пар полюсов обмоток СГ равнялось сумме числа пар полюсов обмоток АВ и дополнительной

трехфазной обмотки возбуждения СГ. На рис.2 приведены кривые ЭДС якорных обмоток СГ и огибающая его выходного напряжения.

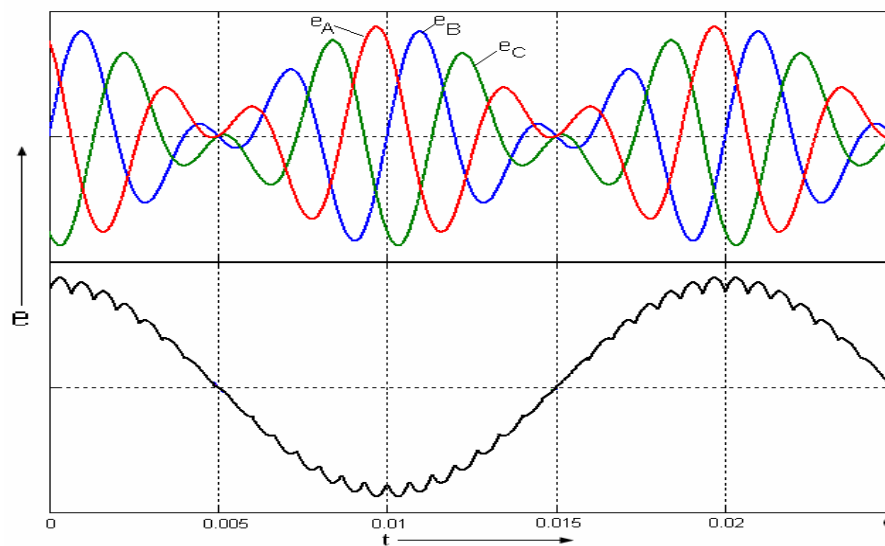


Рис. 2. Результирующие ЭДС обмоток якоря электромашиного генератора и огибающая выходного напряжения

Таким образом, рассмотренный в статье машинно-вентильный источник, позволяет получить трехфазную систему модулированных напряжений, а затем с помощью НПЧ выделив модулирующую функцию получить на выходе МВИ однофазное напряжение близкое к синусоидальному с частотой равной половине частоты переменного тока возбуждения АВ и не зависящего от скорости вращения ЭГ.

Основные выводы:

Машинно-вентильные источники (МВИ) с формированием кривой напряжения на выходе ЭГ путем сложения ЭДС близких частот являются перспективными и обеспечивают высокое качество кривой выходного напряжения в системах децентрализованного электроснабжения. Кроме того, установлено, что рассмотренный в статье машинно-вентильный источник обеспечивает регулирование выходного напряжения и постоянство коэффициента амплитудной модуляции, а также поддерживает частоту и амплитуду выходного напряжения в соответствии с требованиями, предъявляемыми к автономным системам электроснабжения [6].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузьмин В.М., Суздорф В.И. Математическая модель автономного источника с электромашиным формированием кривой выходного напряжения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2011. Т. 1. № 5. С. 23-28.
2. Гужулев Э.П. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Э.П. Гужулев, В.Н. Горюнов и др.. - 2004, Омск : Изд-во ОмГТУ.
3. Борцова Т.Ю., Лукутин Б.В. Стабилизация эквивалентной нагрузки микроГЭС //Материалы докладов девятой всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, без-

- опасность»- т. Т1 - Томск, 3-5 декабря, 2003г. - Томск: Изд. ТПУ, 2003. - с. 105-108.
4. Сарсикеев Е.Ж., Лукутин Б.В., Дементьев Ю.Н., Ляпунов Д.Ю. Имитатор механических характеристик ветротурбины. Патент на полезную модель RUS 136166 11.07.2013.
 5. Киница О. И. Автономный источник напряжения стабильной частоты для систем децентрализованного энергоснабжения: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03.- Комсомольск-на-Амуре, 2006.- 132 с.: ил.
 6. Bolgov I.S., Dementyev Yu.N., Bolgova V.A. Simulation modelling of a pulse frequency-phase discriminator/Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 792. p. 95-100.
 7. Bedri Kekezoglu, Mugdeşem Tanriöven, Ali Erduman. A New Wind Turbine Concept: Design and Implementation. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 12, No. 3, 2015 DOI: 10.12700/APH.12.3.2015.3.12
 8. Abderrahmen Mechter, Karim Kemih, Malek Ghanes. Sliding Mode Control of a Wind Turbine with Exponential Reaching Law. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 12, No. 3, 2015 DOI: 10.12700/APH.12.3.2015.3.10

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

К.Н. Чичманов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ71

Автором было проведено исследование на основе повышающего преобразователя (ППН), входящего в состав структуры инвертора для солнечных батарей как наиболее перспективного по массогабаритным показателям и КПД. Функциональная схема такой системы изображена на рис. 1 [3].

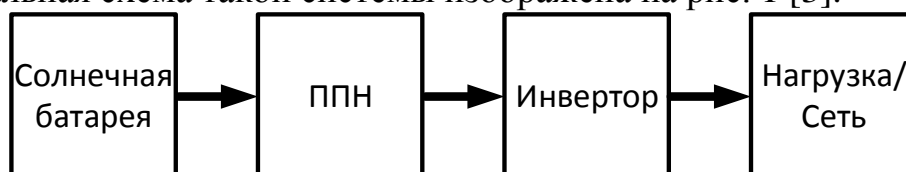


Рис. 1. Функциональная схема инвертора солнечных батарей

Для расширения диапазона работы солнечного инвертора в качестве промежуточного звена между солнечной батареей (СБ) и сетевым инвертором используется преобразователь постоянного напряжения, который так же может производить отслеживание точки максимальной мощности (maximum power point tracking – MPPT), его структурная схема приведена на рис. 2. В качестве такого преобразователя энергии могут выступать понижающий, повышающий, инвертирующий преобразователи или преобразователь, выполненный по схеме Кука. Подобные схемы обеспечивают высокий КПД за счёт снижения количества силовых элементов, при этом массогабаритные показатели фильтра мини-

мизируются высокими частотами преобразования. Одним из основных способов повышения энергетической эффективности фотоэлектрических установок является реализация режима отбора максимума мощности в соответствующей точке вольтамперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи. На рис. 3 даны примеры ВАХ и вольтваттных характеристик (ВВХ) фотоэлектрической панели КСМ-160 [4].

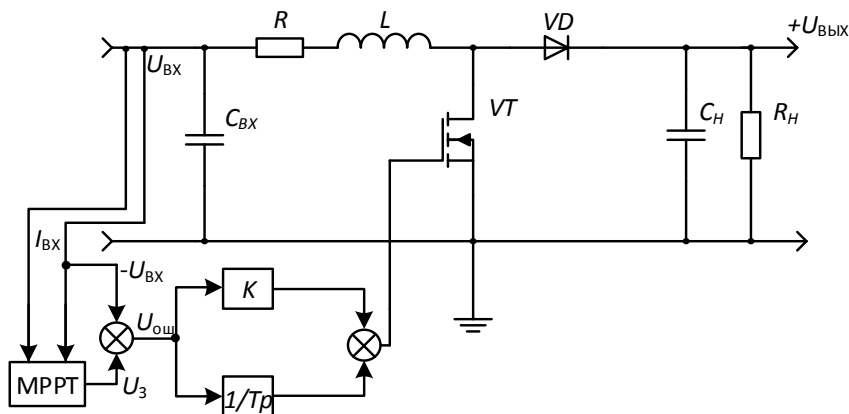


Рис. 2. Структура преобразователя энергии солнечных батарей

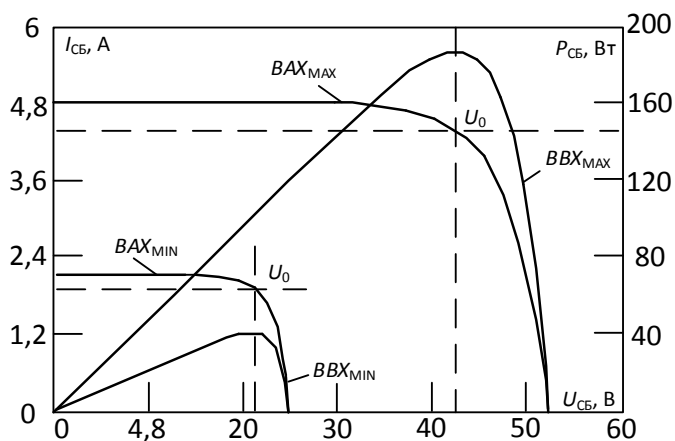


Рис. 3. ВАХ и ВВХ солнечной панели КСМ-160

Типовая схема повышающего преобразователя энергии солнечных батарей изображена на рис. 4.

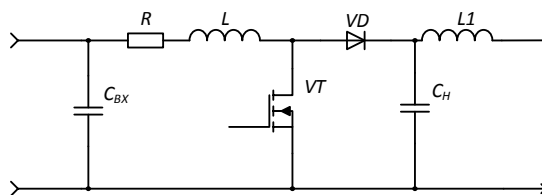


Рис. 4. Типовая схема повышающего преобразователя

Повышающий преобразователь имеет на выходе дроссель, обеспечивающий непрерывность входного тока и стабильность рабочей точки ВАХ по току. При этом происходит увеличение напряжения на всем диапазоне регулирования, что приводит к необходимости использования байпаса для предотвращения превышения выходного напряжения. Учитывая топологию функциональной схемы конечного устройства (рис. 1), наиболее приемлемым вариантом является использование именно этого схемного решения. Из наиболее распространенных типов преобразователей самым высоким КПД обладает ППН.

Для оптимизации выходной мощности фотомодулей, как правило, используется один из известных алгоритмов. В некоторых устройствах для отслеживания точки максимальной мощности реализуют несколько алгоритмов (рис. 5), и переключения между ними осуществляются в зависимости от условий работы. Основными средствами алгоритмизации МРРТ являются: метод возмущения и наблюдения (рис. 5, а), а также методы возрастающей проводимости (рис. 5, б) и постоянного напряжения [1].

При использовании метода возмущения и наблюдения устройство на небольшую величину изменяет эквивалентное входное сопротивление преобразователя (путём варьирования скважности силового ключа или изменения задания на входные величины напряжения, тока или мощности), вследствие чего варьируется напряжение на СБ и далее производится измерение её выходных параметров. Если мощность увеличивается – контроллер продолжает изменять задающий параметр в этом же направлении, пока мощность не перестанет возрастать. Данный метод является наиболее распространённым, несмотря на то, что он приводит к колебаниям мощности.

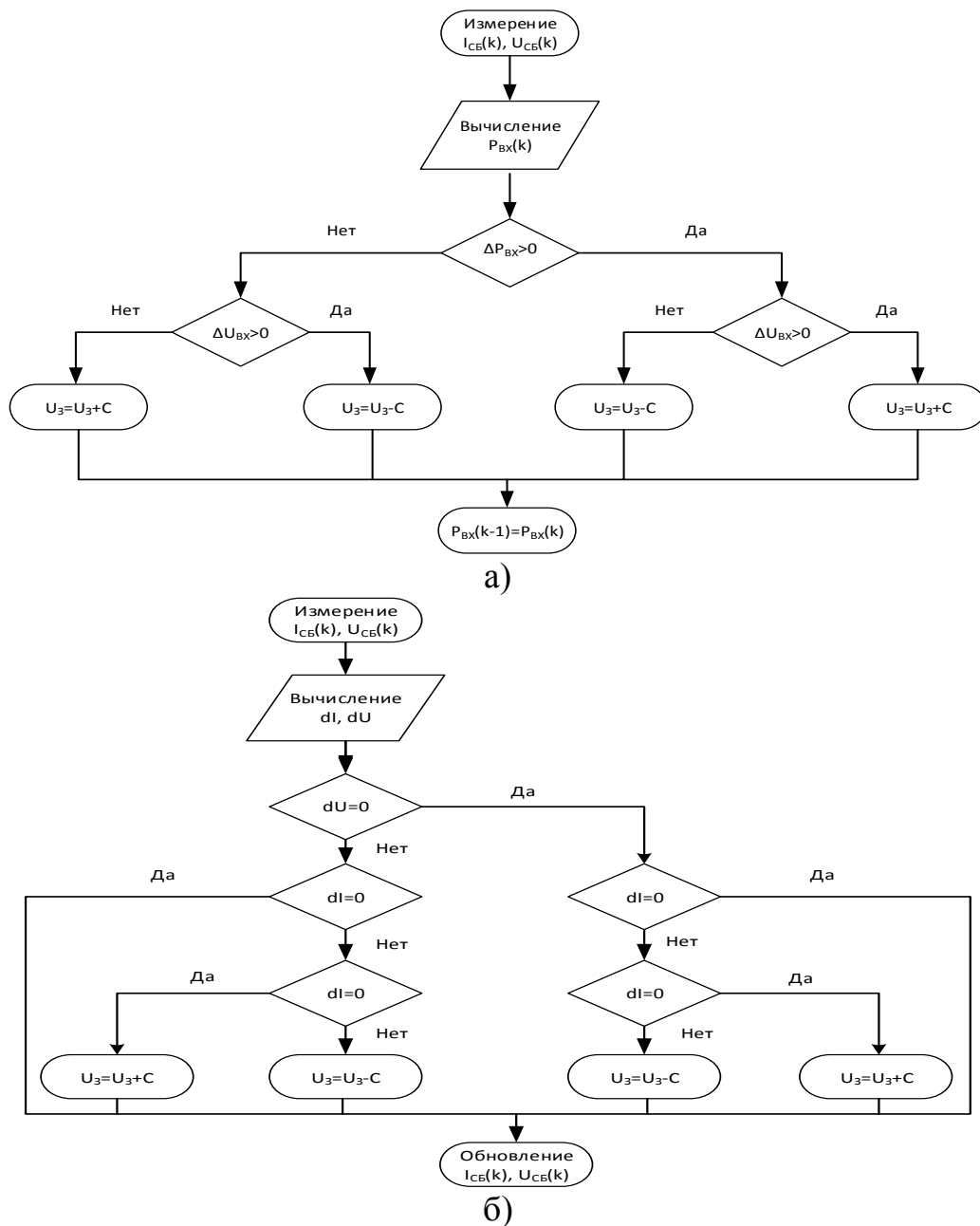


Рис. 5. Блок-схемы алгоритмов отслеживания точки максимальной мощности: а) методом возмущения и наблюдения; б) методом возрастающей проводимости

Его широкое применение обусловлено простотой и может быть реализовано на основе функциональной схемы системы управления ППН, приведенной на рис. 6.

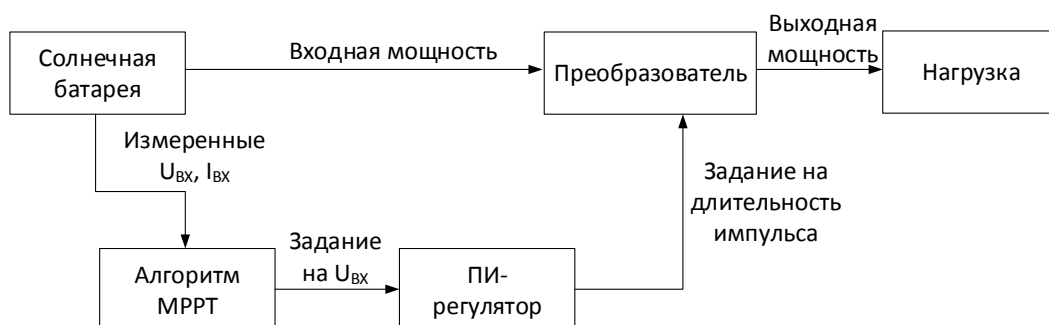


Рис. 6. Функциональная схема системы управления ППН

В методе возрастающей проводимости преобразователь фиксирует увеличение тока и напряжение СБ, чтобы предсказать эффект от изменения напряжения. Он требует увеличения вычислений микроконтроллером, но при этом отслеживает изменение окружающих условий с большей скоростью, чем предыдущий метод. Однако, этот способ так же приводит к колебаниям мощности. Рассматриваемый метод использует возрастающую проводимость dI/dU солнечной батареи для вычисления знака изменения мощности по отношению к напряжению dP/dU . При этом вычисляется точка максимальной мощности и производится сравнение возрастающей проводимости $\Delta I/\Delta U$ с проводимостью СБ (I/U). При выполнении условия $\Delta I/\Delta U = I/U$, выходное напряжение равно напряжению, соответствующему наибольшему значению мощности. Уставка ПИ-регулятора по напряжению поддерживается пока не изменится уровень освещённости, далее процесс повторяется.

Были проведены имитационное моделирование и экспериментальные исследования. Получены графики выхода на рабочую точку и отыскание новых максимумов мощности при изменении величины освещённости фотомодуля.

Адаптивный алгоритм реализован следующим образом: при последовательном движении текущей рабочей точки в одну сторону увеличивается и шаг приращения задания на входное напряжения на каждой итерации; если на предыдущем шаге мощность увеличилась, а на текущем – уменьшилась, то при этом шаг приращения уменьшается.

Рассмотренные алгоритмы нацелены в первую очередь на отыскание локальных максимумов мощности СБ. Все они предполагают колебания мощности, которые могут быть снижены с помощью введения алгоритмов изменения шага, один из которых (адаптивный, возмущения и наблюдения) описан выше. Алгоритм возрастающей проводимости гораздо быстрее обрабатывает изменения освещённости, однако для корректной работы необходимо производить больше арифметических операций на каждом такте его работы. К недостаткам данного метода так же можно отнести высокую чувствительность к помехам и изменению шага.

В результате экспериментов были получены опытные вольтамперные характеристики $U = f(I)$ и вольтваттные $P = f(I)$ характеристики. На основе их анализа были выявлены точки экстремумов мощности для каждой зависимости.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Для увеличения точности (до 99%) экстремального регулирования мощности наиболее приемлем алгоритм изменения шага регулируемого параметра (ток, напряжение, мощность СБ или скважность ключа) при определении максимума мощности.
- Метод возмущения и наблюдения является наилучшим, поскольку менее требователен к ресурсам микроконтроллера и, при реализации адаптивного алгоритма, обеспечивает высокий уровень точности, сочетающийся с достаточным быстродействием.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Pradeep Kumar Yadav A., Thirumaliah S., Haritha G. Comparison of MPPT Algorithms for DC-DC converters based PV systems // Directory of open access journals. 2013. URL: <https://doaj.org/article/10517792b1d843e9b69779fb5560a214> (дата обращения: 20.08.2017).
2. Manimekalai P., Harikumar R., Raghavan S. A Hybrid Maximum Power Point Tracking with Interleaved Converter for Standalone Photovoltaic Power Generation System // International Energy Journal. – 2014. – Vol. 14. – issue 12. – pp. 143–154.
3. Сопоставительный анализ энергетической эффективности преобразования энергии солнечной батареи преобразователями постоянного напряжения // Осипов А.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Отто А.И., Черная М.М.- Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – Т. 27. – № 1. – С. 14–19.
4. Характеристики фотоэлектрического модуля КСМ-160 // ОАО НПФ «Квант». 2013. URL: www.rusnanonet.ru/download/nano/file/ksm160.pdf (дата обращения 20.08.2017).

Научный руководитель: С. М. Семёнов, ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МОДУЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ВЕДОМОГО ИНВЕРТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

А.И. Горшенина
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г4Б

На практике довольно часто возникают задачи, когда необходимо передавать избыток электрической мощности обратно в питающую сеть. Например, такая ситуация возникает в тех случаях, когда выпрямительное устройство питает якорную цепь машины постоянного тока в системе электропривода какого-либо транспортного средства или грузоподъемного механизма. При движении транспорта под уклон или грузоподъемного механизма вниз (с грузом) машина постоянного тока переходит из двигательного режима работы в генераторный за счет механической энергии, подводимой к ней от исполнительного механизма. Известно, что ведомым инвертором называется инвертор, частота, форма и величина выходного напряжения которого, определены внешней сетью [1]. Из всего многообразия применений ведомых инверторов, перспективным является использование этого силового преобразователя при создании энергосберегающих имитационных комплексов для испытаний энергопреобразующей аппара-

туры систем электропитания космических аппаратов [2,3]. Например, модуль ведомого инвертора является необходимым блоком в структурных схемах энергосберегающего имитатора нагрузок и имитатора аккумуляторной батареи. Разработка унифицированного модуля ведомого инвертора мощностью $5 \div 20$ кВт, с возможностью встраивания его в автоматизированную преобразовательную систему, является актуальной задачей.

Существуют широко известные две базовые схемы трехфазных ведомых инверторов – трехфазный ведомый инвертор с нулевой точкой (рис. 1) и трехфазный мостовой ведомый инвертор (рис. 2).

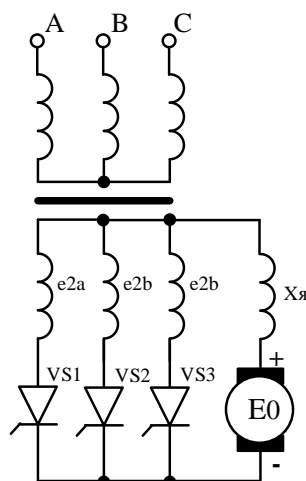


Рис. 1. Схема трехфазного ведомого инвертора с нулевым выводом

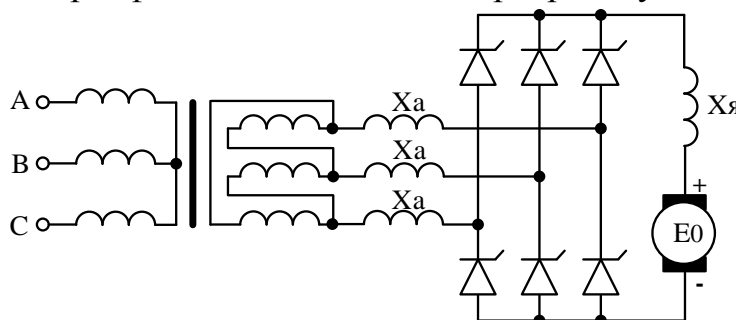


Рис. 2. Схема трехфазного мостового ведомого инвертора

Сравнительный анализ указанных топологий ведомых инверторов позволяет сделать следующие выводы в пользу применения топологии мостового инвертора [4]:

- мостовой ведомый инвертор обладает меньшими пульсациями входного тока, что ведет к значительному улучшению массогабаритных показателей входного фильтра;
- энергетические показатели мостового инвертора выше;
- существующие сегодня полевые транзисторы MOSFET на напряжение 1200 В, позволяют использовать их в мостовых схемах, что ведет к дополнительному увеличению КПД.

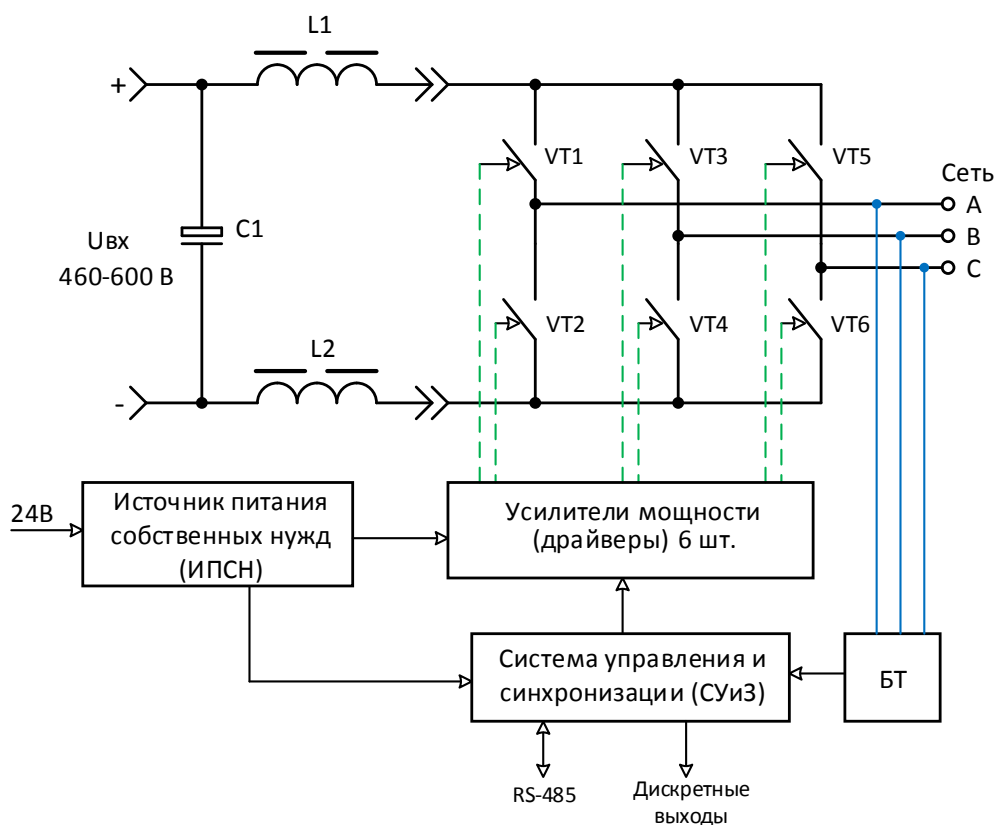


Рис. 3. Функциональная схема модуля ведомого инвертора

Таким образом, с использованием базовой топологии (рис. 2) разработан модуль ведомого инвертора (рис. 3) с возможностью передачи мощности до 20 кВт в трехфазную сеть, имеющий в своем составе:

- блок трансформаторов (БТ), необходимый для осуществления синхронизации с сетью;
- входной фильтр C1, L1, L2, обеспечивающий сглаживание пульсаций потребляемого тока;
- источник питания собственных нужд, с преобразовательным звеном повышенной частоты (50 кГц), необходимый для формирования различных уровней напряжения для питания датчиков тока, температуры, платы управления и т.д.;
- система управления и защиты, осуществляет формирование сигналов управления транзисторами моста, согласно алгоритму управления, обрабатывает сигналы датчиков тока и температуры, а также обеспечивает связь с управляющей надсистемой по каналу RS-485 и дискретным выходам;
- усилители мощности (драйверы) обеспечивают согласование уровней управляющей логики и низкоомных входов транзисторов моста, а также обеспечивают гальваноразвязку между силовой частью схемы и системой управления.

Система управления синхронизирована с сетью через гальваноразвязанный БТ и отсчитывает фазу управляющих импульсов от точек естественной коммутации. В случае возникновения нештатной ситуации, например развитие сквозного тока по одной из транзисторных стоек, увеличение температуры ра-

диатора сверх нормы (свыше 70^0), управление транзисторами моста блокируется, в сторону управляющей надсистемы выдается соответствующий код ошибки, сигнализирующий об аварии модуля, продолжение функционирования модуля станет возможным только после перезагрузки контроллера системы управления.

Таким образом, разработанный модуль обладает надежной системой управления и защиты, улучшенными массогабаритными показателями, собственной системой питания, для которой необходимо только наличие общей шины 24 В, имеет возможность управления по цифровым каналам связи, что позволяет использовать его как готовую унифицированную единицу в автоматизированных силовых преобразовательных системах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник/ Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк: учебник / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.: ил.
2. Юдинцев А.Г. Автоматизированный энергосберегающий имитатор аккумуляторной батареи для испытаний систем электропитания космических аппаратов // Сборник научных трудов VII международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика. ЭЭЭ-2015», 2015, Новосибирск, Изд-во НГТУ, часть 1 (в 3 ч.), стр. 257-260.
3. Патент на полезную модель 158318 РФ. Электронный имитатор нагрузки для испытаний систем электропитания космических аппаратов / Мишин В.Н., Юдинцев А.Г., Пчельников В.А., Бубнов О.В. Бюл. №36, опубликовано 27.12.2015. Заявка 2015118389/02, 15.05.2015.
4. Гельман М.В. Вентильные преобразователи постоянного и переменного тока: учебное пособие/ М.В. Гельман, М.М. Дудкин – Челябинск.: Издательский центр ЮУрГУ, 2013, - 228 с.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

И.С. Шлюев, А.С. Каракулов, С.Н. Кладиев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ6Л

В настоящее время, одной из наиболее приоритетных задач теплоснабжения является повышение энергоэффективности тепловых сетей и снижение капиталовложений на их ремонт и обслуживание. В Российской Федерации более 70% процентов тепловой энергии производится системами централизованного отопления, остальные 30% приходятся на производство с помощью децентрализованных источников. Такие источники имеют ряд преимуществ по сравнению с системами централизованного теплоснабжения, а именно:

- повышение энергоэффективности системы теплоснабжения, за счет сокращения расстояния «источник тепла - потребитель» и как следствие отсутствия теплотрасс, имеющих потери до 25% от передаваемого тепла;
- независимость от графиков отопительного сезона котельных централизованного отопления;
- исключение перерасхода топлива и сокращение вредных выбросов в атмосферу.

Одним из способов увеличения доли децентрализованных источников тепла, является применение современных блочно-модульных котельных с широким диапазоном мощностей и функциональных возможностей.

Блочно-модульные котельные – это готовое комплексное решение по теплообеспечению зданий жилищно-коммунального и промышленного назначения. Такие котельные можно устанавливать, как в отдельном здании небольшой площади, так и внутри или на крыше уже существующего строения. Блочно-модульные котельные могут подключаться к системам централизованного отопления или специально созданным системам теплоснабжения. Так же применение таких котельных имеет ряд других преимуществ:

- сниженная стоимость и сроки монтажа;
- компактные габариты, позволяющие устанавливать котельные ближе к потребителю;
- высокий уровень автоматизации;
- возможность создания котельных с широким диапазоном мощностей и индивидуальных потребностей заказчика.

Одной из главных проблем, возникающих при проектировании электрооборудования таких котельных, является создание систем автоматического управления и оптимизации режимов работы котельных установок с различными типами паровых и водогрейных котлов различной производительности.

Такая система должна управлять всеми механизмами котельной установки с приводными асинхронными электродвигателями, а именно:

- тягодутьевые машины – вентиляторы и дымососы;
- насосные агрегаты – сетевые, подпиточные и рециркуляционные;
- запорная и регулирующая арматура подачи, воды, воздуха, газов – клапаны, задвижки, направляющие аппараты.

Тягодутьевые машины и насосы котлов малой и средней производительности оснащаются приводными асинхронными электродвигателями мощностью от 5 до 200 кВт на напряжение 380 В.

В механизмах котлов большой мощности используются преимущественно высоковольтные приводные асинхронные двигатели на напряжение 3 кВ либо 6(10) кВ мощностью 200-1600 кВт.

Система управления должна осуществлять автоматический пуск и остановку котельной по заданной программе с соблюдением технологической последовательности включения/выключения механизмов, с предельно допусти-

мой минимизацией длительности и оптимизацией параметров переходных режимов вентиляции и розжига котла.

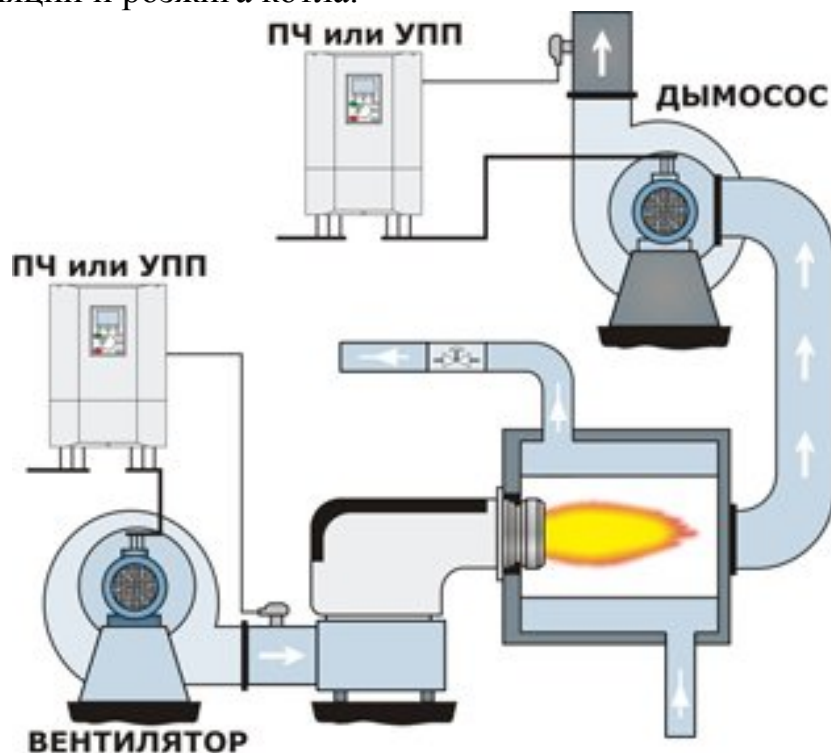


Рис. 1. Принципиальная схема оборудования.

Управляя вышеперечисленными механизмами, система управления должна осуществлять поддержание на заданном уровне или изменение по заданному графику:

- давления/разрежения воздуха и газов в топке котла;
- соотношение «топливо-воздух» в котле;
- температуры, давления или расхода воды в трубопроводах котла и сети;
- положения направляющих аппаратов, задвижек, клапанов в режимах вентиляции, розжиг, малой производительности котла.

Принцип действия данной системы основан на автоматическом управлении производительностью тягодутьевых машин и насосных агрегатов котельной установки путем частотного регулирования скорости приводных асинхронных электродвигателей этих механизмов. Система управления представляет собой совокупность специальных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов тягодутьевых машин и насосных агрегатов котельной установки с микропроцессорным управлением и автоматическим регулированием рабочих параметров. Регулирование параметров осуществляется в соответствии с требованиями режимных карт котельной установки.

Каждый электропривод содержит силовой преобразователь частоты на основе транзисторного (IGBT) автономного инвертора напряжения с широтно-импульсным управлением (ШИМ), встроенный микроконтроллер с программным регулятором, датчики соответствующих рабочих параметров котельной установки. Программируемый микроконтроллер электропривода позволяет реализовать различные зависимости параметров при регулировании, осуществ-

лять коррекцию одних параметров по значению других. При этом производительность вентиляторов определяет количество воздуха в топке, оптимизирующие процесс горения во всех режимах работы котла, в том числе в режиме розжига. Производительностью дымососов поддерживается заданное разрежение газов в топке котла. Совместное управление вентилятором и дымососом обеспечивает режим вентиляции топки при пуске и останове котла.

Электропривод дымососа во всех режимах работы котла - вентиляции, розжига, производительной работы – поддерживает постоянное разрежение в котле, то есть работает в режиме регулирования разрежения. В качестве источника сигнала обратной связи используются датчики разрежения.

Так же, как и в электроприводе вентилятора для повышения надежности режима розжига предусмотрена возможность управления направляющими аппаратами газопроводов.

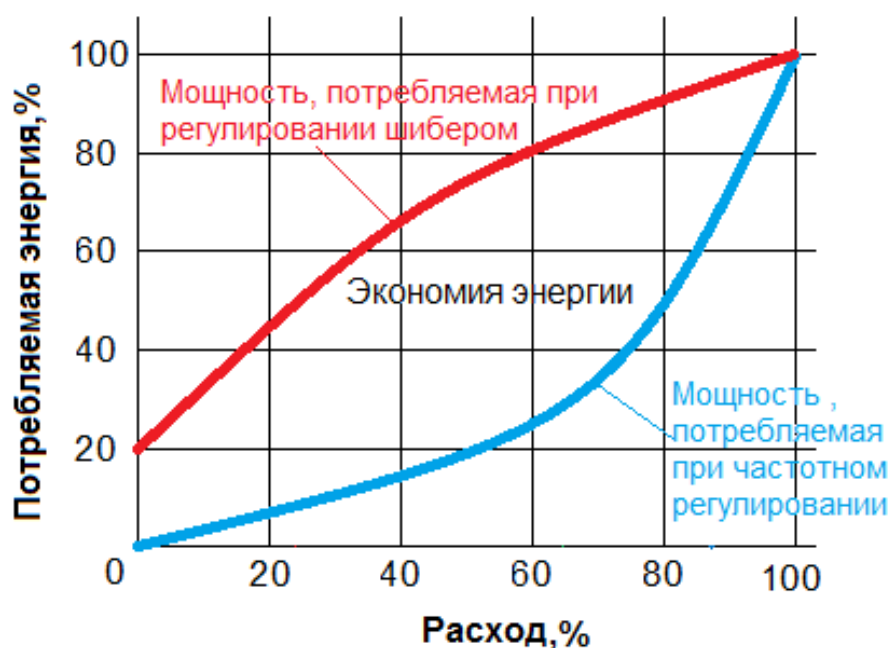


Рис. 2. Зависимость потребляемой энергии от расхода топлива

Выводы:

Использование частотно-регулируемых электроприводов в системе управления механизмами котельных установок с энергетической и с технологической точек зрения намного эффективнее традиционно используемого управления задвижками, шиберами и направляющими аппаратами в воздушных, газовых и водных магистралях котла. Эффективность заключается в снижении расхода топлива на 3...5% и потребления электроэнергии на 30...40% при той же производительности котла. Так же это позволяет полностью устранить токовые перегрузки двигателя и возможность гидравлического удара.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
2. Электронный ресурс: <http://www.ges.ru/raznoe/triol/96.htm>. Дата обращения 04.03.17. Доступ свободный.
3. Электронный ресурс «Тягодутьевые механизмы котельных и систем вентиляции»: <http://www.etx.ru/node/100>. Дата обращения 01.03.17. Доступ свободный.

Научный руководитель: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ КРУПНЫХ ТОРГОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Р.А. Белоусов, С.Н. Кладиев, А.С. Каракулов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ6Л

В настоящее время более приоритетным направлением для многих стран является развитие интеллектуальных систем управления и альтернативных источников электроэнергии. В этом году на международной специализированной выставке EXPO-2017 Астана тема выставки была полностью посвящена данному направлению электроэнергетики, которое носит название «Энергия будущего».

Одной из самых важных задач, стоящих сейчас перед владельцами и арендаторами торговых площадок в крупных торговых комплексах, является эффективное управление электроэнергией и пространством. Затраты на эти ключевые ресурсы постоянно растут, и трудно быть успешным без глубокого понимания того, как эти ресурсы расходуются, без возможности управлять ими и оптимизировать их использование. Постоянно растущие расходы просто могут сделать вас неконкурентоспособными на фоне более расчетливых соперников.

Существуют определенные правила для разных торговых помещений, которые необходимо соблюдать. В каждом торговом помещении есть обязательные общие нормы, а также индивидуальные рекомендации к подсветке товаров.

Общие правила освещения торговых помещений:

- - соблюдение всех правил и норм со СНиПами;
- - создание комфортной атмосферы покупателей;
- - использование освещения для зонирования и навигации;
- - освещение размещается вдоль торговых рядов;

- - желательно устанавливать освещение после расстановки стеллажей и мебели;
- - для акцента на низкие цены использовать холодный свет;
- - для акцента на дорогой товар использовать теплый свет;
- - использование акцентного света для определенной зоны с товарами, акциями и т.п.
- - акцентный свет всегда ярче общего освещения.

Зонирование разделяет торговый центр на визуальные блоки и позволяет направить поток покупателей так, чтобы они прошли через всю торговую галерею. При этом необходимо направлять потоки таким образом, чтобы полностью исключить наличие «мертвых зон».

Освещенность вносит очень значительную составляющую в уровень продаж. Оно может как увеличить продажи, так и уменьшить их. Современный уровень освещенности в магазинах колеблется от 500 до 100 Lux в горизонтальной плоскости, т.е. для расчетов берется освещенность пола.

Табл. 1. Рекомендуемый минимальный уровень освещенности для торговых заведений.

Освещаемые объекты	Уровень освещенности на торговых поверхностях, лк
Торговые залы супермаркетов	500
Торговые залы магазинов без самообслуживания: книжных, обуви, игрушек, канцтоваров и т.д.	300
Примерочные кабины	300
Торговые залы продовольственных магазинов и магазинов самообслуживания	400
Помещения главных касс	300

Также необходимо обратить внимание на физические свойства света:

- Интенсивность освещения (уровень освещенности);
- Цветовая температура света (выражается в градусах Кельвина). Комфортный и безопасный уровень освещенности для человека находится в пределах 500-2500лк. В странах с более холодным климатом лучше воспринимается свет с теплой цветовой температурой 4000-2500К. во избежание искажения цвета рекомендуется использовать светильники с коэффициентом цветопередачи (Ra) минимум 80.

Система управления освещением — это интеллектуальная сеть, которая позволяет обеспечить нужное количество света, где и когда это необходимо. Большинство таких систем способны автоматически регулировать освещение. Автоматизация представляет собой один из трех основных механизмов оптимизации освещения, наряду с использованием энергоэффективных ламп и грамотным расположением светильников.

Преимущества:

- учет, передача и использование информации о потреблении электроэнергии, конфигурации сети и отдельных устройств;

- фотометрия - регулирование мощности освещения в зависимости от уровня естественной освещенности помещений;
- снижение энергопотребления;
- увеличение продолжительности срока службы электрических ламп, за счет энергосбережения;
- датчики движения - срабатывание на движение в помещении.

В большинстве используемых сегодня систем управления освещением подача электроэнергии и сигналов управления разделены. Энергия подается по стандартной силовой проводке, а для управления используется отдельная слаботочная кабельная инфраструктура. Такие системы обычно строятся по централизованному принципу, а их «сердцем» служит контроллер. Они могут использоваться не только для управления освещением, но и интегрироваться с другими системами автоматизации зданий, например, системами безопасности, вентиляции и отопления, климат контроля, пожарной и охранной сигнализацией и т.д. Для передачи информации в подобных системах управления разработано множество протоколов. Для автоматизации процесса управления могут применяться различные датчики: освещенности, движения и многие другие. Используя собираемые ими данные, контроллер «раздает команды» на электронные блоки светильников.

Главный недостаток описанного подхода – необходимость обслуживать несколько кабельных инфраструктур. Одна – силовая, для подачи электричества на светильники; другая – слаботочная управляющая, для коммуникаций датчиков, контроллеров и электронных блоков самих светильников. Однако это не все. Часто отдельную кабельную сеть строят для систем видеонаблюдения, которая также может быть интегрирована с системой управления освещением.

Много инфраструктур – много проводов, сложно, дорого. Возможно, ли использовать единую кабельную инфраструктуру не только для коммуникаций, но и для подачи электропитания на светильники?

Появлению возможности перехода к единой кабельной проводке способствовали два важных тренда. С одной стороны, развитие и снижение стоимости светодиодных систем освещения (LED).

Светодиодные системы освещения используются все шире. Этому свидетельствует рынок ламп, на котором четко виден рост продаж светодиодных ламп, с прогнозом на будущее.

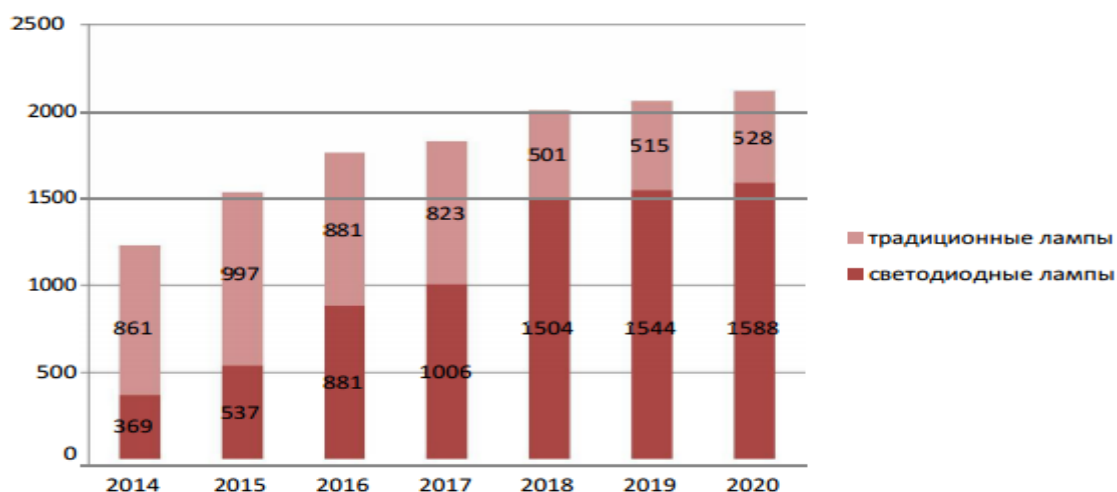


Рис. 1. Рынок светодиодных ламп в 2014-2020 гг., млн долларов США

Другой тренд – увеличение мощности электропитания, которое может быть подано по структурированной кабельной системе (СКС).

Данное решение обеспечивает построение интеллектуальной системы управления освещением, в которой подача электропитания, управление и обмен данными осуществляются на базе единой кабельной проводки. В состав решения, ориентированного на использование низковольтных LED- светильников, входят также датчики, отслеживающие движение, температуру и освещенность.

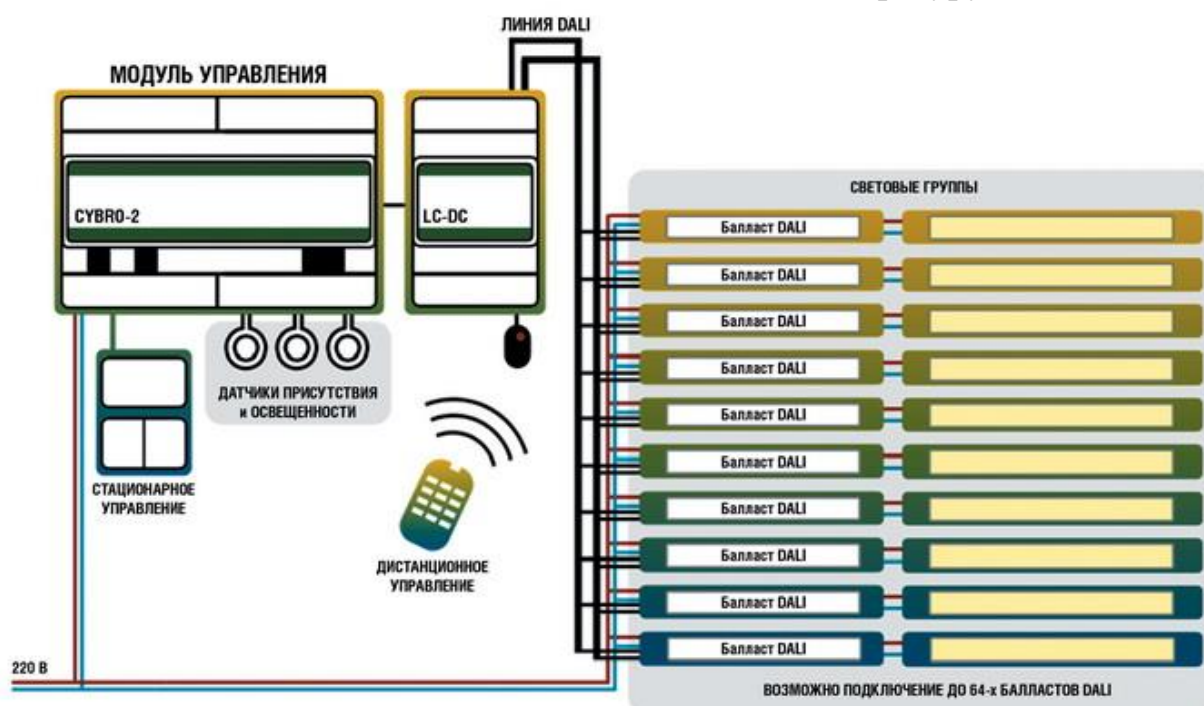


Рис. 2. типовая структурная схема управления системы освещения

Выводы:

Инновационное решение для организации интеллектуальных систем освещения основано на использовании единой слаботочной кабельной инфраструктуры, по которой подается электропитание и обеспечивается передача данных и контроль. Это дает существенную экономию средств по сравнению с традиционными подходами к организации управляемой системы освещения. Сокращение затрат на электропитание системы освещения в среднем на 75%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аналитический центр при правительстве России: Оптимизация освещения. Бюллетень-2015, 48с.
2. Электронный ресурс «Освещение торговых центров»: <http://www.tdmegaprom.ru>. Дата обращения 04.03.17. Доступ свободный.
3. Электронный ресурс «Интеллектуальная система управления светодиодным освещением»: <https://comptek.ru>. Дата обращения 01.03.17. Доступ свободный.

Научный руководитель: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

СЕРВОДВИГАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

И.В. Никитин

Томский политехнический университет
ЭНИН; ЭПЭО; группа 5Г4Б

Актуальность

Технический прогресс и конкуренция приводят к постоянному росту производительности и повышению степени автоматизации технологического оборудования. При этом возрастают требования, предъявляемые к регулируемым электроприводам, по таким параметрам, как диапазон регулирования частоты вращения, точность позиционирования и перегрузочная способность.

Для обеспечения предъявляемых требований разработаны высокотехнологичные устройства современного электропривода — сервоприводы. Это такие системы привода, которые в широком диапазоне регулирования скорости гарантируют высокоточные процессы движения и реализуют их хорошую повторяемость. Сервоприводы являются наиболее высокотехнологичной ступенью электропривода.

Устройство серводвигателя

Серводвигатель - это вращающийся двигатель с датчиком обратной связи, который позволяет точно контролировать угловое положение, скорость и ускорение исполнительного механизма. Серводвигатель используется в составе сервомеханизма и для работы требует относительно сложную систему управления, которая обычно разрабатывается специально для использования с серводвигателем.

Серводвигатели не являются отдельным классом электродвигателей, несмотря на то, что термин серводвигатель часто используется для указания на электродвигатель, который предназначен для использования в замкнутой системе управления.

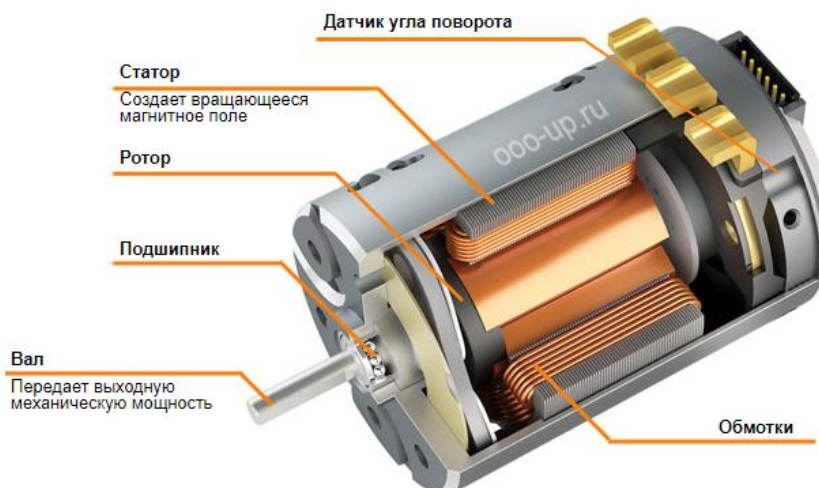


Рис. 1. Стандартная конструкция электрического серводвигателя

К электродвигателям, предназначенным для использования в сервомеханизмах, обычно предъявляются жесткие требования. Ключевую роль при выборе двигателя играет его механическая характеристика, а так же параметры, определяющие динамические характеристики, такие как индуктивность обмоток и момент инерции ротора. Эти параметры в итоге определяют общие параметры сервомеханизма. Большие, мощные, медленно реагирующие замкнутые сервоконтуров могут использовать обычные электродвигатели постоянного и переменного тока. Но в основном в серводвигателях используются СДПМ и СРД так как они имеют лучшие показатели (мощность/объем, момент/инерция) в сравнении с другими двигателями. В сервосистемах широко применяется конструкция электродвигателя с полым ротором, что позволяет улучшить динамические характеристики системы.

Как известно серводвигатели сочетают в себе достаточно большую мощность и компактность. Однако данные моторы могут функционировать, только если в наличии имеется электронный блок. Связка сервомотора и электронного управляющего модуля именуется – сервоприводом. Одно из основных достоинств сервомоторов перед ШД (шаговыми двигателями), это, безусловно, плавностью хода. Присутствие обратной связи создает условия для точного позиционирования положения, а также скорости вращения вала сервомотора.

Отличие от шаговых двигателей

Как правило, шаговые двигатели для управления их работой тоже требуют наличия электронных блоков, однако в отличие от сервомоторов они не требуют обратной связи и функционируют в своем дискретном режиме. Непосредственно сам шаговый двигатель – это электродвигатель особой конструкции, который преобразует задающие ему импульсы в дискретное перемещение с определенным количеством шагов.

Принцип работы

Основным аспектом функционирования серводвигателей является условия его работы в рамках системы G-кодов, то есть команд управления, содержащихся в специальной программе. Если рассматривать данный вопрос на примере ЧПУ, то сервомоторы функционируют во взаимодействии с преобразователями, которые изменяют величину напряжения на якоре или на возбуж-

дающей обмотке двигателя, исходя из уровня входного напряжения. Обычно управление всей системой производится с помощью стойки ЧПУ. При получении команды из стойки пройти определенное расстояние вдоль координатной оси X , в субблоке цифрового аналогового преобразователя стойки создается напряжение некоторой величины, которое передается для питания привода указанной координаты. В сервомоторе начинается вращение ходового винта, с которым связан энкодер и исполнительный орган станка. В первом происходит выработка импульсов, подсчитываемых стойкой. Программа предусматривает, что некоторое количество сигналов с энкодера соответствует определенному расстоянию прохождения исполняющего механизма. При получении нужного количества импульсов аналоговый преобразователь выдает нулевое значение выходного напряжения, и сервомотор останавливается. В случае смещения под внешним воздействием рабочих элементов станка на энкодере формируется импульс, обсчитываемый стойкой, на привод подается напряжение рассогласования, и якорь двигателя поворачивается до получения нулевого значения рассогласования. В результате обеспечивается точное удержание рабочего элемента станка в заданном положении.

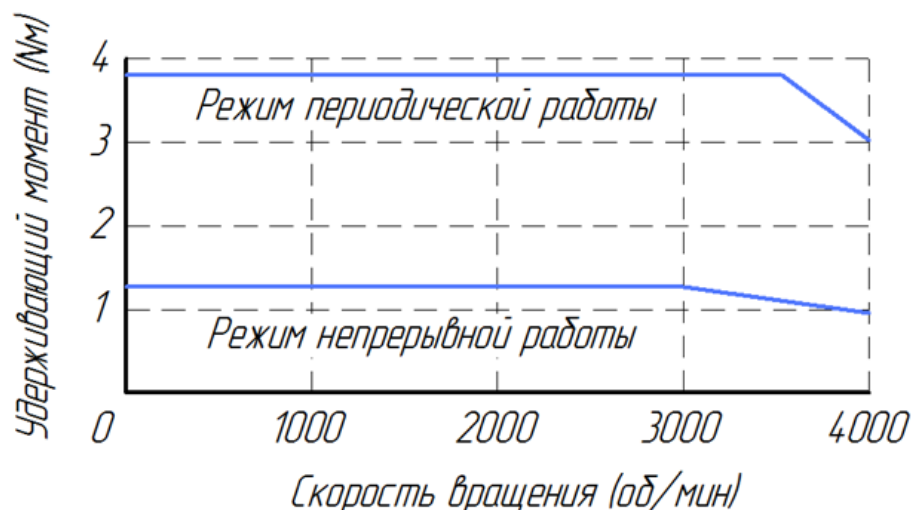


Рис. 2. Механические характеристики серводвигателя

Разновидности серводвигателей

Как и другие устройства, серводвигатели представлены в нескольких исполнениях. Такого рода изделия бывают:

1. Коллекторными;
2. Бесколлекторными.

Устройства могут работать на постоянном и переменном токе. Сервомоторы переменного напряжения являются сравнительно дешевыми. Изделия также представлены на рынке в асинхронном и синхронном исполнении. В синхронном варианте в процессе работы изделия перемещение магнитного поля совпадает с вращением ротора, поэтому их направление относительно статора совпадает. Управление асинхронными устройствами производится за счет перемены параметров питающего тока (изменение его частоты с помощью инвертора). Для серводвигателей, которые имеют привод с помощью постоянного тока, предусмотрена маркировка аббревиатурой DC. Такого типа изделия в

большинстве случаев применяются в оборудовании, предназначенном для беспрерывной работы, поскольку их отличает большая стабильность при эксплуатации.

Преимущества и недостатки серводвигателей

Серводвигатели обладают бесшумностью и плавностью работы. Это надежные и безотказные изделия, благодаря чему их широко используют при создании ответственных исполнительных устройств. Высокая скорость и точность перемещения могут обеспечиваться также и на невысоких скоростях. Такой двигатель может быть подобран пользователем в зависимости от предстоящих разрешаемых задач. К недостаткам следует отнести высокую стоимость модуля, а также сложность его настройки. Производство серводвигателей требует наличия высокотехнологичного промышленного оборудования.

Таким образом, потребители могут приобрести серводвигатели, которые наиболее всего соответствуют условиям предстоящей эксплуатации, создав исполнительное устройство, отличающееся высокой надежностью и функциональностью.

Серводвигатели находят свое применение:

- в станкостроении (фрезерные, токарные станки (привода подачи), обрабатывающие центры и др.);
- в системах позиционирования в координатных столах (плазменная, лазерная резка и др.);
- в пищевой промышленности (упаковочные автоматы, системы протяжки, «Летающая пила», «Летающий нож»);
- в машиностроении;
- в деревообрабатывающей промышленности;
- в металлургической промышленности;
- в роботостроении;
- в строительстве («умный дом»);
- в шинной индустрии;
- в медицине;
- в лабораторных установках различных научных институтов и производственных предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Техника и человек | О состоянии человеческого духа - инженерии.
URL: <http://zewerok.ru/servodvigatel/> (дата обращения 07.09.17).
2. Инженерные решения - Интеграция систем контроля, автоматизации и мониторинга
URL: <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/servomotor/> (дата обращения 07.09.17).
3. "Каменский станкостроительный завод"
URL: <https://777russia.ru/pages/view/?view=articles&id=34> (дата обращения 07.09.17).

4. Школа для электрика - Использование сервоприводов при автоматизации оборудования, URL: <http://electricalschool.info/main/drugoe/226-ispolzovanie-servoprivodov-pri.html> (дата обращения 07.09.17).

Научный руководитель: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБМОТКИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

О.С. Рукавицын

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ71

Актуальность

В настоящее время асинхронные электродвигатели являются наиболее распространенными и востребованными электрическими машинами. В свою очередь увеличение числа эксплуатируемых машин приводит и к увеличению числа повреждений. Наиболее распространенным повреждением короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя (АД) является обрыв его стержней, что приходится на более чем 80 % всех повреждений обмотки ротора [1]. Дефекты обмотки ротора в настоящее время можно выявить только в период капитальных ремонтов. Ущерб при эксплуатации асинхронного двигателя с поврежденными стержнями обмотки ротора выражается в повышенном потреблении электроэнергии, при этом стоимость перерасхода электроэнергии за год работы АД с дефектом в обмотке ротора нередко превышает его стоимость. Из вышесказанного следует, что существует острая потребность в выявлении повреждений обмотки ротора АД без выведения двигателя из эксплуатации.

Оценка ущерба от дефектов асинхронных электродвигателей

В качестве примера в таблице 1 представлены результаты расчетов токов и энергетических показателей асинхронного двигателя АО-31-4 без повреждений и с повреждениями одного или нескольких стержней [2, 3].

Табл. 1. Энергетические показатели АД при повреждении ротора

Режим работы	Ток фазы, А	Перерасход электроэнергии, %	Потребляемая мощность Р, кВт
Без повреждения	5,3577	-	2,927
При повреждении 1 стержня	5,4646	2,46	2,999
При повреждении 2 стержней	5,6617	6,79	3,126
При повреждении 3 стержней	5,8295	10,35	3,230

При повреждении одного, двух и трех стержней ротора фазный ток увеличивается на 2,00 %, 5,67 % и 8,81 %. При этом расход электроэнергии возрастает на 2,46 %, 6,79 % и 10,35 %. Исходя из полученных результатов дополни-

тельные затраты на эксплуатацию АД из-за повышения расхода электроэнергии возрастают на величины, приведенные в таблице 2.

Табл. 2. Затраты на электроэнергию в рублях при повреждении ротора

Тип двигателя	Потребляемая мощность, кВт	Стоимость двигателя, руб.	Дополнительные затраты на электрическую энергию в рублях при обрыве		
			одного стержня	двух стержней	трех стержней
АО-31-4	2,7	400-800	231,2	437,8	605
AZM 8000/6000	8000	2-3 млн.	122722	852733,4	1290032,6

Расчет показывает, что при эксплуатации двигателя с повреждением даже одного стержня годовые потери электроэнергии будут сопоставимы со стоимостью самого двигателя. Из этого следует, что разработка диагностической системы является актуальной задачей и имеет существенный экономический эффект, определяемый суммой предотвращенного ущерба.

Выявление диагностического признака

Коллективом авторов Томского политехнического университета предложен метод для выявления дефектов в процессе работы электродвигателя путем обработки сигналов с датчиков тока. Последовательность математических операций при обработке данных с токовых датчиков:

1. Вычисление и построение графика модуля результирующего вектора тока статора по данным с датчиков тока.
2. Сборка системы базисных функций на основе обобщенной линейной регрессии общего вида.
3. Вычисление коэффициентов при базисных функциях.
4. Вычисление коэффициента γ (диагностического признака).
5. Интерпретация диагностического признака.

На рисунке 1 представлен график переходного процесса модуля результирующего вектора тока статора при пуске АД на холостом ходу с повреждением одного стержня ротора.

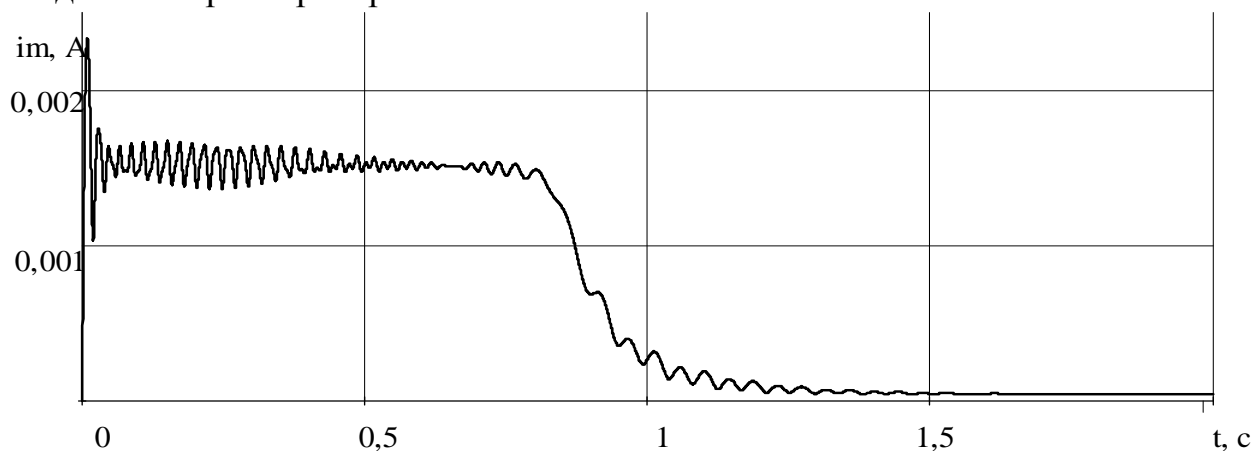


Рис. 1. График переходного процесса модуля результирующего вектора тока статора при пуске АД на холостом ходу с повреждением одного стержня ротора

В качестве базиса выбираем базис Фурье. Далее производим вычисление коэффициентов при базисных функциях и строим спектрограмму (рисунок 2).

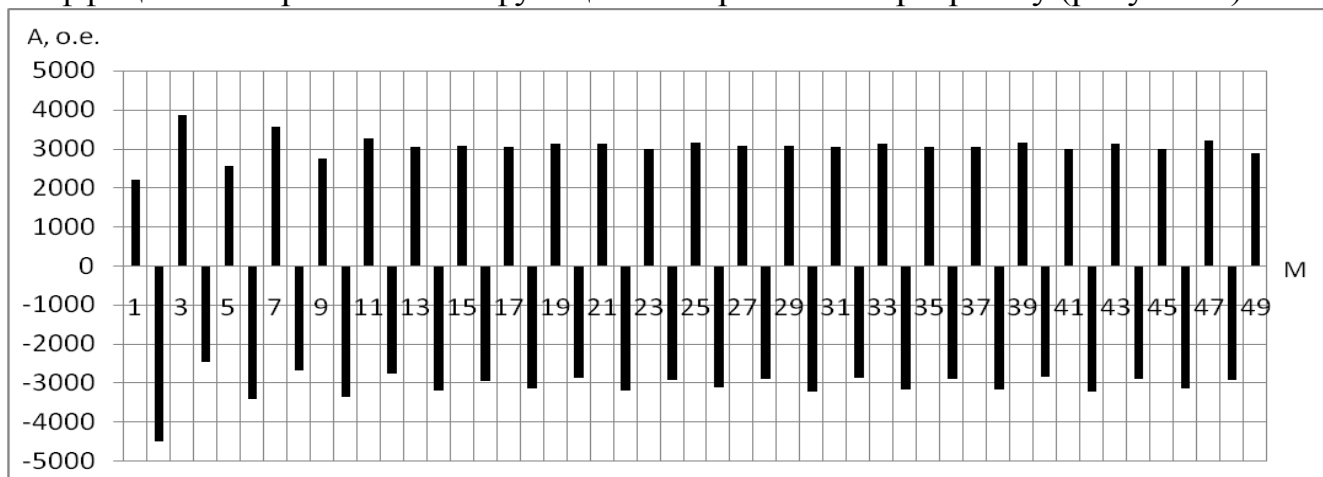


Рис. 2. Спектрограмма с обрывом 1 стержня

В качестве диагностического признака была выбрана зависимость коэффициента γ , характеризующего максимальное расхождение векторов в пространстве по конкретному ортогональному базису между векторами, отождествляющими поврежденное и неповрежденное состояние машины, в зависимости от размерности пространства. Произведем построение данных зависимостей для выбранных базисов.

На рисунке 3 представлен график зависимости коэффициента γ от размерности пространства при использовании базиса Фурье.

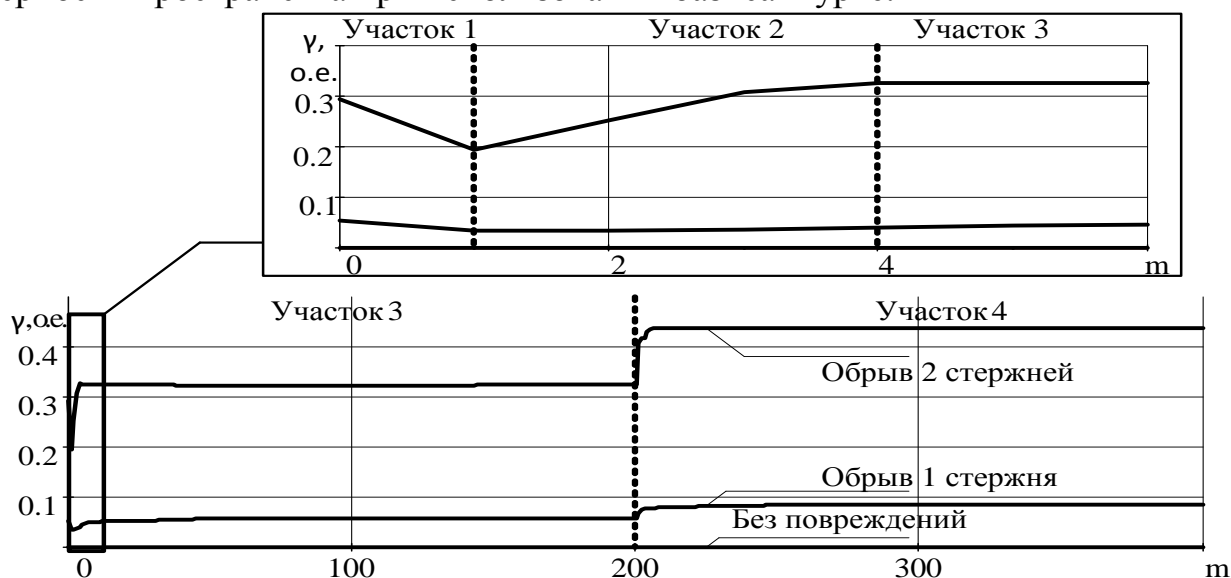


Рис. 3. График зависимости коэффициента γ от размерности пространства при использовании базиса Фурье

Из рисунка 3 можно увидеть, что на участке 1 графики коэффициента γ , характеризующие обрыв 1 и 2 стержней ротора, носят убывающий характер. Это можно объяснить наличием некомпенсированных составляющих регрессионной модели, которые на участке 2 компенсируются вводимыми функциями базиса. На участке 3 графики принимают стабильное значение, которое на участке 4 сменяется другим постоянным значением.

Из полученных графиков видно, что зависимость коэффициента γ от размерности пространства может быть использована в качестве диагностического признака повреждения стержней ротора асинхронного двигателя.

Интерпретация диагностического признака

Значительно повысить степень оценки состояния машины может автоматизированная система диагностики, основанная на правилах нечетких множеств. Эта система предоставляет в помощь эксперту своего рода «искусственный интеллект», который может автоматически проводить диагностику машины на основе данных мониторинга.

В нечёткой логике стратегия управления подобна процессу ассоциативного мышления человека. Именно поэтому системы с элементами нечёткой логики принято относить к искусственно-интеллектуальным [4].

Схема данного процесса такова: – восприятие исходных условий; – принятие решения с использованием знаний, хранящихся в памяти [4].

Основное преимущество разрабатываемой в ТПУ системы функциональной диагностики с применением нечеткой логики в том, что она более полно отражает состояние диагностируемого объекта. И на основании результатов анализа человек-оператор может принять решение о дальнейшей эксплуатации асинхронного электродвигателя.

Выводы

1. В качестве диагностического признака была выбрана зависимость коэффициента γ , характеризующего максимальное расхождение векторов в пространстве по конкретному ортогональному базису между векторами, отождествляющими поврежденное и неповрежденное состояние машины, в зависимости от размерности пространства.
2. В результате вычислений выявлено, что зависимость коэффициента γ от размерности пространства может быть использована в качестве нового диагностического признака обрыва стержней ротора асинхронного двигателя.
3. Основное преимущество системы функциональной диагностики с применением нечеткой логики в том, что она более полно отражает состояние диагностируемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глазырина Т.А. Совершенствование функциональной диагностики повреждений короткозамкнутой обмотки асинхронных двигателей собственных нужд электростанций: Дис. канд. тех. наук: 05.14.02. – ТПУ, 2012. – 120 с.
2. Новожилов А.Н., Кислов А.П., Андреева О.А. Метод численного моделирования работы асинхронного двигателя с обрывом стержней в короткозамкнутом роторе // Электричество. – 2004. – № 11. – С. 41-45.
3. Новожилов А.Н., Андреева О.А., Кислов А.П. Энергопотребление асинхронного двигателя при обрыве стержней и эксцентриситете короткозамкнутого ротора // Вестник ПГУ. – 2004. – № 1. – С. 204-217.

4. Глазырина Т.А. Динамика электропривода с нечетким регулятором / Т.А.Глазырина [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – т. 316. – № 4. – С. 168–173.

Научный руководитель: О.С. Качин, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСИЛИЯ В САМОТОРМОЗЯЩИХСЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

В.Е. Королев¹, С.Н. Кладиев², Н.В. Гусев²
Томский политехнический университет^{1,2}
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ6Л¹

Нормальная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов и станков с числовым программным управлением (ЧПУ) невозможна без электродвигателей снабженных надежно действующими тормозными устройствами. Как показывает обзор современной патентной отечественной литературы и промышленно развитых зарубежных стран (Англия, Германия, Италия, США, Франция и т.д.), что до настоящего времени не удалось создать идеальных электродвигателей с тормозными устройствами [1, 2, 3].

Кроме этого технологические процессы грузоподъемных машин и механизмов и станков с ЧПУ на разных этапах работы требуют движение рабочего органа с различной скоростью, что обеспечивается в современных электроприводах путем электрического регулирования скорости и момента электродвигателя. Для решения этой задачи, как известно, применяют два основных метода частотного управления, а именно: скалярное управление и векторное управление [4].

Поэтому проблема создания компактных двигателей с тормозом и электрических схем торможения, позволяющих обеспечить с наименьшими затратами быстрый и точный останов и фиксацию вала механизма, остается актуальной, а исследования процессов в таких электродвигателях при частотном управлении имеют практическую ценность.

В настоящее время из всех известных конструкций наиболее перспективным для решения отмеченной проблемы является самотормозящийся асинхронный двигатель (СЭД) с электромагнитной вставкой на роторе [1,4], который получил наибольшее распространение в силу своих конструктивных преимуществ.

Особенностью процессов в самотормозящихся электродвигателях является их многоэтапность, которая сопровождается коммутацией статорных цепей и срабатыванием тормозного устройства. Поэтому разработанная математическая модель асинхронных самотормозящихся электродвигателей охватывает следующие режимы: включение вперед, разрыв обмотки статора перед механическим торможением тормозным устройством, а так же отражать моменты, связанные с условиями размыкания и замыкания тормоза.

В настоящей статье приведена методика расчета и анализ электромагнитных усилий удержания тормозного устройства СЭД со вставкой на роторе при частотно-токовом управлении.

Основной материал и результаты исследований

Самотормозящийся электродвигатель со вставкой на роторе отличается от двигателя основного исполнения лишь наличием тормозного устройства, работа которого связана с использованием части основного магнитного потока между статором и ротором и потока рассеяния короткозамкнутого кольца обмотки ротора для создания электромагнитных усилий [3, 4] (рис.1). С этой целью ротор выполняется специальной конструкции. Основная и тормозная части ротора объединены в единое целое. Тормозной момент создается пружиной, которая прижимает тормозной диск-вентилятор с тормозными накладками к поверхности специального подшипникового щита.

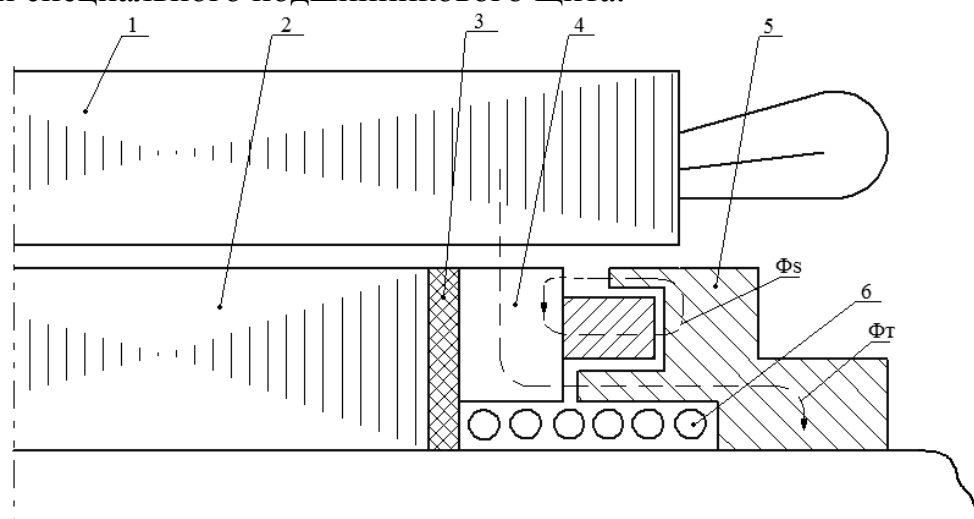


Рис. 1. Магнитная система СЭД с электромагнитной вставкой на роторе.

1 – статора СЭД, 2 – основная часть ротора СЭД, 3 – немагнитная прокладка, 4 – тормозная часть ротора, 5 – электромагнитная вставка из магнитопроводящего материала, 6 – возвратная пружина, обеспечивающая замыкание тормоза и создание тормозного момента.

При математическом описании электромеханических процессов в самотормозящихся электродвигателях система уравнений содержит при общепринятых допущениях:

- уравнения равновесия напряжений, как и в двигателях основного исполнения;

$$\begin{aligned}\vec{u}_s &= R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s; \\ 0 &= R_r \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_r,\end{aligned}\quad (1)$$

- компонентное уравнение для электромагнитного момента двигателя;

$$\vec{M} = k(\vec{\psi} \times \vec{i}) \quad (2)$$

- уравнение равновесия моментов, когда тормоз разомкнут и тормозной момент $M_T = 0$;

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

где $\vec{u}_s, \vec{i}_s, \vec{i}_r, \vec{\psi}_s, \vec{\psi}_r$ – обобщенные вектора напряжения, токов и потокосцеплений в обмотках статора и ротора соответственно.

Далее математическое описание процессов в СЭД связано непосредственно с электромагнитной частью встроенного тормозного устройства. Тормозное устройство в СЭД со вставками на роторе представляет собой своеобразного рода электромагниты переменного тока, которые характеризуются электромагнитными силами притяжения и удержания. Характер изменения усилий притяжения и удержания и их величины оказывают существенное влияние на электромеханические переходные процессы в СЭД. Это сказывается, прежде всего, на вращении ротора двигателя.

При разработке электроприводов с асинхронными двигателями с тормозными устройствами заложен частотно-токовый способ управления.

При этом режиме работы модули векторов токов и потокосцеплений постоянны, а производные их равны нулю. Поэтому систему уравнений равновесия напряжений (1) можно записать в комплексной форме в виде.

$$\begin{cases} \dot{U}_s = (R_s + jX_s) \cdot \dot{I}_s + j(X_{m0} + X_{mT}) \cdot \dot{I}_r; \\ 0 = j(X_{m0} + X_{mT}) \cdot s \cdot \dot{I}_s + (R'_r + jX_r \cdot s) \cdot \dot{I}_r. \end{cases} \quad (4)$$

где R_s и R'_r – активные сопротивления обмоток статора; X_s и X_r – индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора; $X_m = X_{m0} + X_{mT}$ – индуктивное сопротивление взаимной индукции.

На рис. 2, 3 представлены в относительных единицах зависимости усилий удержания $F_{уд} = f(\alpha)$ при двузонном регулировании скорости вращения двигателя и зависимости $F_{уд} = f(\alpha)$ при изменении длины тормозной части ротора.

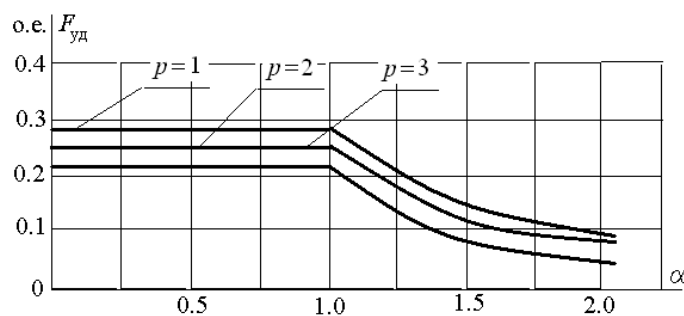


Рис. 2. Зависимость усилия удержания от частоты источника питания при двузонном регулировании.

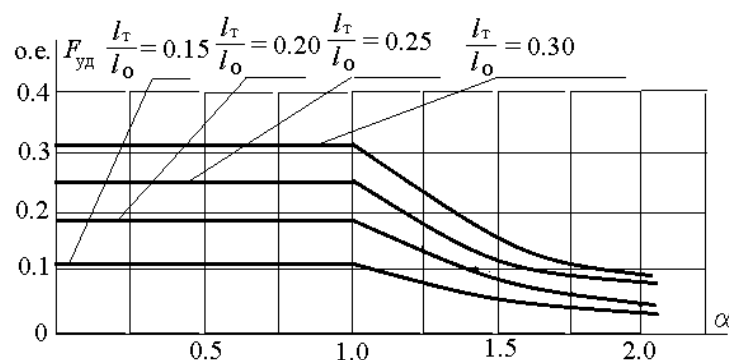


Рис. 3. Зависимости усилия удержания от частоты питающей сети при различных значениях длины тормозной части ротора при $p = 2$

Выводы

Расчет и анализ электромагнитных усилий, обеспечивающих работу тормозного устройства СЭД с электромагнитной вставкой на роторе, при частотно-токовом управлении показали:

1. тормозное устройство СЭД с электромагнитной вставкой на роторе обеспечивает надежную работу в диапазоне частот $f = 0 \div f_{1н}$, так как усилие удержания постоянно;
2. в зоне регулирования частоты вращения двигателя выше синхронной необходимо обеспечивать условие для надежного срабатывания тормозного устройства СЭД с электромагнитной вставкой на роторе, а именно:

$$F_{уд} \geq F_{пр},$$

где $F_{пр}$ – усилие противодействующей (тормозной) пружины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бочкарев И. В. Быстродействующие электромеханические тормозные устройства для электродвигателей. Автореферат докторской диссертации. – Москва: Энергоатомиздат. 2001. – 32 с.
2. Таршхоев Р. З. Разработка и математическое моделирование самотормозящихся асинхронных электроприводов. Автореферат кандидатской диссертации. Краснодар – 2005. – 32 с.
3. Соленьков В.В., Брель В.В. Асинхронные электродвигатели с электромеханическими тормозными устройствами. Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого. 2003. – 28-31 с.
4. Карлов Б., Есин Е. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация. Силовая электроника №1 2004.

Научные руководители: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ; Н.В. Гусев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ТЕНЗОРАХ

А.В. Морозов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Широко используемый в современном электроприводе асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором представляет собой сложный нелинейный объект управления. Вместе с этим, в силу конструктивных особенностей, прямое измерение электромагнитных переменных состояния ротора является практически не реализуемым, а параметры изменяются в процессе работы двигателя. Перечисленные факторы, и, как следствие, качество и процесс регулирования переменных в электроприводе на основе АД напрямую зависит от используемых при проектировании моделей [1].

Общепринятой математической моделью является модель машины переменного тока следующего вида

$$\begin{cases} \mathbf{U}_{s\alpha\beta} = \mathbf{R}_s \mathbf{I}_{s\alpha\beta} + \frac{d\mathbf{\Psi}_{s\alpha\beta}}{dt}, \\ 0 = \mathbf{R}_r \mathbf{I}_{r\alpha\beta} + \frac{d\mathbf{\Psi}_{r\alpha\beta}}{dt}, \\ J \frac{d\Omega}{dt} = M - M_c, \end{cases} \quad (1)$$

где $\mathbf{U}_{s\alpha\beta} = [U_{s\alpha} \ U_{s\beta}]^T$; $\mathbf{I}_{s\alpha\beta} = [I_{s\alpha} \ I_{s\beta}]^T$; $\mathbf{I}_{r\alpha\beta} = [I_{r\alpha} \ I_{r\beta}]^T$;
 $\mathbf{\Psi}_{s\alpha\beta} = [\Psi_{s\alpha} \ \Psi_{s\beta}]^T$; $\mathbf{\Psi}_{r\alpha\beta} = [\Psi_{r\alpha} \ \Psi_{r\beta}]^T$; $\mathbf{R}_s = [R_s \ R_s]^T$; $\mathbf{R}_r = [R_r \ R_r]^T$.

Использование модели (1), как правило, сопровождается рядом допущений, принимаемых для упрощения расчета процессов, протекающих в двигателе. Среди таких допущений можно выделить пренебрежение потерями в стали, насыщением магнитопровода, неравномерностью воздушного зазора, эффектом вытеснения тока, а так же допущение о симметричности трехфазных обмоток статора и ротора [2]. Учет допущений в первую очередь необходим для возможности организации алгоритмов управления в процессе моделирования. Однако указанная идеализация в определенных случаях может приводить к существенным различиям по отношению к реальным процессам, протекающим в двигателе во время его работы. Более детального математического описания АД с короткозамкнутым ротором удастся достичь средствами тензорного анализа [3].

Рассмотрим принцип построения математического описания АД в тензорах на примере элементарного проводника, к концам которого приложено напряжение u . Необходимо составить выражение, отражающее эффект вытес-

нения тока в проводнике. Для этого разобьем сечение проводника S на N элементарных площадей.

Сопротивление одного элементарного проводника будет в N -раз больше, чем общее сопротивление R . Учитывая эффект вытеснения величина и фаза тока в проводниках будет меняться. Система уравнений баланса напряжений для всех элементарных проводников будет иметь вид

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_1}{dt} + R_1 i_1 = u_1, \\ \frac{d\Psi_2}{dt} + R_2 i_2 = u_2, \\ \dots \\ \frac{d\Psi_N}{dt} + R_N i_N = u_N. \end{cases} \quad (2)$$

Согласно тензорной методологии введем N -мерное пространство с координатной системой x^1, x^2, \dots, x^N и системой локальных базисных векторов $\vec{e}^1, \vec{e}^2, \dots, \vec{e}^N$ [3]. В результате умножения уравнений системы (2) на соответствующие базисные вектора получим

$$\frac{d\Psi_1}{dt} \vec{e}^1 + \dots + \frac{d\Psi_N}{dt} \vec{e}^N + R_1 i_1 \vec{e}^1 + \dots + R_N i_N \vec{e}^N = u_1 \vec{e}^1 + \dots + u_N \vec{e}^N. \quad (3)$$

Или с учетом равенства сопротивлений элементарных проводников

$$\frac{d\Psi_1}{dt} \vec{e}^1 + \dots + \frac{d\Psi_N}{dt} \vec{e}^N + R_\mu \vec{i} = \vec{u}. \quad (4)$$

Далее необходимо преобразовать сумму первых N слагаемых к векторному виду. Для этого найдем

$$\sum_{\xi=1}^N \frac{d\Psi_\xi}{dt} \vec{e}^\xi = \frac{d\vec{\Psi}}{dt} - \sum_{\nu=1}^N \Psi_\nu \frac{d\vec{e}^\nu}{dt}. \quad (5)$$

Дифференциалы локальных базисных векторов преобразуются как

$$d\vec{e}^\nu = - \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \Gamma_{ij}^\nu \vec{e}^i dx^j, \quad (6)$$

где Γ_{ij}^ν - символы Кристоффеля второго рода, или, другими словами, коэффициенты связности пространства [3].

В тензорной форме получим

$$\frac{d\Psi_\mu}{dt} + \Gamma_{\mu j}^k \Psi_k \frac{dx^j}{dt} + R_\mu i_\mu = u_\mu. \quad (7)$$

Распространяя указанный пример на обмотки АД с короткозамкнутым ротором, не трудно показать, что уравнение равновесия напряжений в АД будет иметь схожий с (7) вид. В результате разложения (7) на статорную и роторную составляющие получим следующую систему тензорных уравнений

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_s}{dt} + R_1 I_s = u_s & (\overline{s=1, 2}), \\ \frac{d\Psi_r}{dt} + \sum_{k=1}^2 \omega_r^k \Psi_k + R_2' I_r = 0 & (\overline{r=3, 4}), \end{cases} \quad (8)$$

при $\sum_{k=1}^2 \omega_r^k \Psi_k = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \Gamma_{rj}^k \Psi_k \frac{dx^j}{dt}$, $R_1 I_\mu = (R_1 I_s, R_2' I_r)$ в четырехмерном

подпространстве с координатной системой $\tilde{x}^1, \tilde{x}^2, \tilde{x}^3, \tilde{x}^4$.

Рассмотренный принцип получения тензорных уравнений можно применить и к остальным переменным состояния АД [3]. Тогда тензорная модель АД с короткозамкнутым ротором будет иметь вид

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_s}{dt} + R_1 I_s = u_s & (\overline{s=1, 2}), \\ \frac{d\Psi_r}{dt} + \sum_{k=1}^2 \omega_r^k \Psi_k + R_2' I_r = 0 & (\overline{r=3, 4}), \\ \Psi_s = L_1 I_s + \sum_{r=3}^4 L_m \Omega_s^r I_r & (\overline{s=1, 2}), \\ \Psi_r = L_2' I_r + \sum_{s=1}^2 L_m \Omega_r^s I_s & (\overline{r=3, 4}), \end{cases} \quad (9)$$

где Ω_s^r, Ω_r^s - тензоры вращения, необходимые для суммирования векторов тока статора и ротора[3].

Из системы уравнений (9) после преобразования в форму Коши составлена тензорная модель трехфазного АД с короткозамкнутым ротором в САПР MatlabSimulink (см. рис. 1).

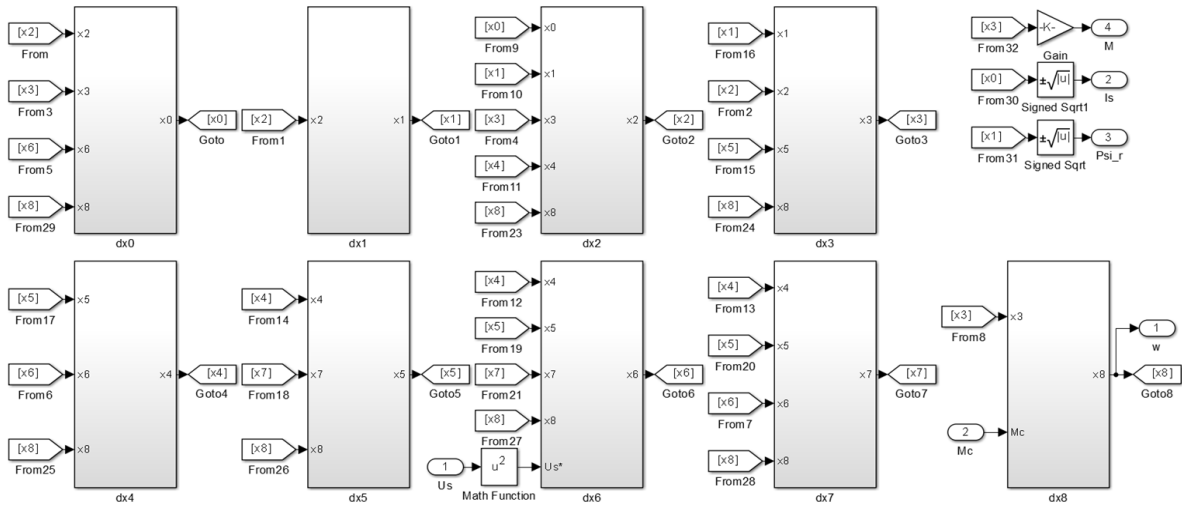


Рис. 1. Тензорная модель АД

Результаты моделирования АД 75 кВт представлены на рис. 2.

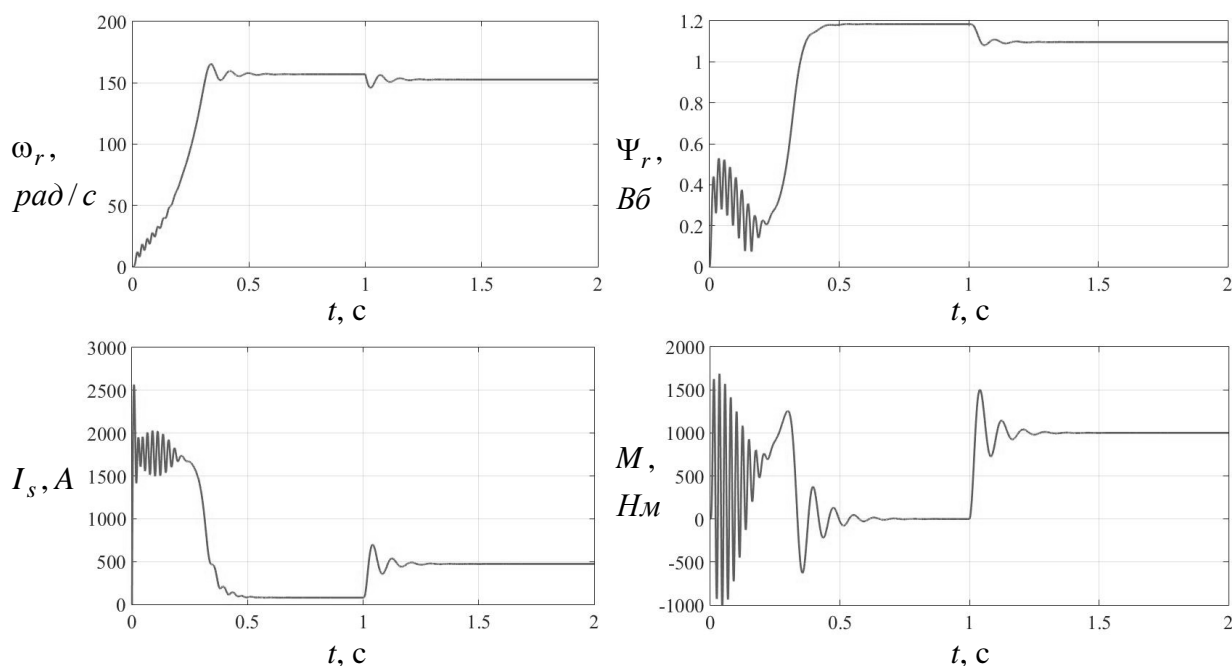


Рис. 2. Переходные процессы в АД

Дифференциальное уравнение, учитывающее механическую составляющую работы двигателя, не отличается от соответствующего уравнения в системе (1). На рис. 2 показано моделирование прямого пуска АД и наброс нагрузки 1 кНм в момент времени 1 секунда. Как можно заметить, графики переходных процессов, полученные в результате моделирования тензорной модели АД, соответствуют общепринятым представлениям.

Представленную тензорную математическую модель АД вида (9) так же называют бескоординатной. К преимуществам такого описания стоит отнести возможность учета различных физических эффектов, возникающих в обмотках АД в процессе его работы.

Следующим этапом в использовании тензорного аппарата применимо к нелинейным электромеханическим системам может стать разработка соответствующих алгоритмов управления и наблюдателей состояния для представленной модели АД.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 152с
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока // ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет В. И. Ленина». – Иваново, 2008. – 297 с
3. Курнышев Б.С. Тензорная методология в теории электротехнических систем: учебное пособие // Б.С. Курнышев, С.П. Данилов. - ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет В. И. Ленина». – Иваново, 2002.- 173 с

Научный руководитель: Б. В. Бруслиновский, к.т.н., доцент кафедры САУ, СПбГЭТУ.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА

А.В. Лавринович¹, А.В. Мытников²

Томский научно-исследовательский проектный институт Нефть¹

Томский политехнический университет²

ЭНИН, ЭЭС

Выход электродвигателя из строя ведет к прерыванию технологического цикла или производственного процесса и сопровождается существенными материальными потерями. Во многих случаях причиной возникновения аварийных ситуаций является дефекты обмоток. В связи с этим, разработка эффективной технологии контроля состояния обмоток является актуальной задачей. В работе приводятся результаты экстраполяции импульсного метода диагностики обмоток трансформаторов для выявления дефектов обмоток электродвигателей. Показано, что возможно определение состояния обмотки без использования анализа сигнала отклика, только на основе анализа зондирующего импульса. Установлено, что предлагаемый метод позволяет определять тип дефекта и место его локализации.

Среди потребителей электрической энергии доля электродвигателей различного назначения составляет около 80%. Редкий современный технологический процесс обходится без использования вращающихся электрических машин различной мощности. Турбогенераторы электрических станций, синхронные компенсаторы, насосы, компрессоры, станки промышленных предприятий, электродвигатели для обеспечения собственных нужд - далеко неполный список электрических машин активно применяемых в современной индустрии. Обмотки электрических машин, являются их наиболее сложной и наиболее уязвимой частью, состояние которых во многом определяет долговечность и надежность работы машин и как следствие – качество технологического процесса, в котором они применяются. Возникновение дефектов в обмотках приводит к выходу электрической машины из строя и может приводить к тяжелым авариям [1]. Эти аварии большей частью не носят характера внезапной катастрофы, однако, требуют крупного ремонта или даже реконструкции обмотки, а иногда и замены машины в целом, что всегда связано с большими материальными затратами. Диагностика и контроль состояния обмоток электрических машин является необходимым условием при их длительной эксплуатации, это условие позволяет определить фактическое состояние обмоток, преждевременно выявить образование дефектов, устранение которых на ранней стадии позволит избежать серьезной поломки оборудования или аварии, снизить затраты на текущий ремонт и увеличить срок службы оборудования [1, 2].

Ниже приводится список наиболее распространенных дефектов и их доля в процентах от общего числа повреждений электродвигателей.

- Межвитковые замыкания и замыкания обмотки на корпус - 30%.
- Перегрузка и перегрев статора - 16%.
- Повреждения подшипников - 12%.

- Повреждения обмоток статора или изоляции - 11%.
- Проблема с ремнями - 9%.
- Небаланс ротора - 3%.

Как следует из приведенного списка, дефекты обмоток составляют основную часть от общей доли всех повреждений электродвигателей. Поэтому, создание технологии контроля состояния обмоток электродвигателей, является достаточно актуальной задачей. На практике часто пользуются измерением сопротивления изоляции обмоток. Метод довольно неточный, показывает повреждение обмотки при полном замыкании, не позволяет определить место дефекта и является, достаточно устаревшим. Среди современных методов контроля обмоток многообещающим представляется спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения [1]. Однако этому методу присущ ряд недостатков, среди которых: сложность, как измерительной процедуры, так и оценки результатов измерений, необходимость дальнейших исследований [2]. Таким образом, не смотря на существование различных методов диагностики обмоток электродвигателей, на сегодняшний день не создано универсального, простого в эксплуатации и экономически эффективного способа контроля состояния обмоток обладающего необходимой точностью и достоверностью.

Одним из путей решения указанной проблемы может служить экстраполяция известного метода низковольтных импульсов (НВИ) для диагностики обмоток трансформаторов на контроль состояния обмоток электродвигателей. Метод НВИ был разработан в Институте электротехники г. Варшава, Польша в 1966 и описан в [2, 3]. Суть метода заключается в том, что на одну из обмоток трансформатора подается зондирующий стандартный грозовой импульс 1,2/50 мкс амплитудой 100 – 500 В. Другие обмотки шунтируются, и на шунтах регистрируется отклик на зондирующий импульс. Отклик представляет собой сигнал, соответствующий переходному процессу, возникающему в обмотках, как реакция на воздействие зондирующего импульса. В качестве эталонного сигнала служит нормограмма – отклик с обмотки заведомо исправного трансформатора. При профилактических испытаниях процедура зондирования повторяется. Сравнивая результаты текущего зондирования и нормограммы можно делать вывод о состоянии и возможной неисправности обмотки при относительно существенном отклонении отклика от нормограммы. Метод НВИ получил интенсивное развитие в РФ в конце прошлого века [4].

В наших экспериментах был использован зондирующий импульс с параметрами 200 В, 400 нс. Принцип работы диагностического комплекса, генерации зондирующих импульсов, регистрации сигналов и методика измерений применялись ранее для трансформаторного оборудования и подробно изложены в [5, 6].

На рисунке 1,а приведены зондирующий импульс (верхняя осциллограмма), который подавался на фазу А обмотки статора и сигнал отклика (нижняя осциллограмма) снимался с фазы В. На рисунке 1,б приведены осциллограммы сигналов зондирующего импульса и отклика соответственно, подаваемых и снимаемых как и в предыдущем случае, только для двигателя с поврежденной обмоткой (межвитковое короткое замыкание).

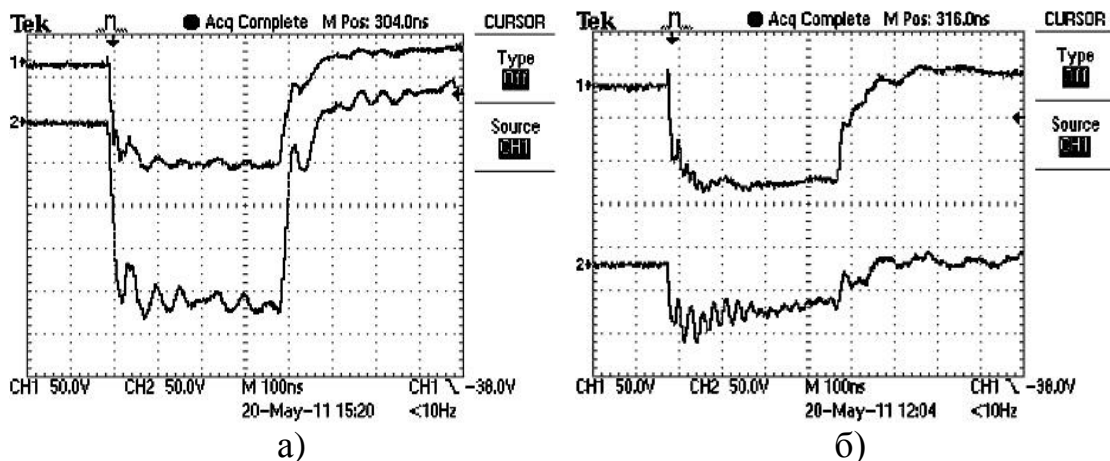


Рис. 1. Осциллограммы зондирующего импульса и отклика для случая а) обмотки исправны; б) межвитковое замыкание в обмотке статора.

Как видно из приведенных осциллограмм, сигналы отклика имеют существенные отличия. Отклик в случае исправной обмотки практически повторяет зондирующий импульс с незначительными отличиями в виде колебаний на фронте и плоской части импульса. В случае зондирования неисправной обмотки сигнал отклика кардинально отличается от зондирующего импульса. Таким образом, основной вывод, который можно сделать на основе приведенных практических измерений, состоит в том, что технология импульсного дефектографирования, успешно применяемая для контроля состояния обмоток трансформаторов может быть применена к обмоткам электродвигателей с достаточно высокой степенью информативности. Одним из выводов, сделанных по результатам измерений, приведенных выше, является трансформация зондирующего импульса в зависимости от ситуации в обмотке. Характерные изменения формы импульса, особенно на спаде и в «хвостовой» части, свидетельствуют о наличии или отсутствии дефекта. Чем сильнее степень искажения формы прямоугольного импульса, тем выше вероятность появления дефектного состояния в обмотке. Ниже приводятся результаты, полученные в экспериментах на модели обмотки, реализованной в программе Micro-Cap.

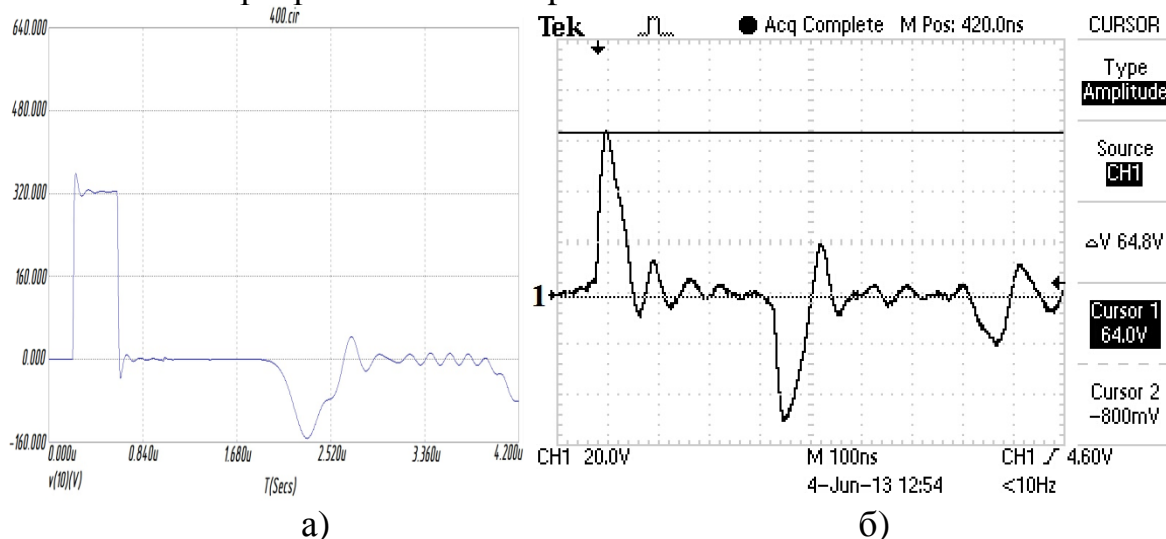


Рисунок 2. Вид осциллограмм для случая дефект типа «короткозамкнутый виток» в середине обмотки; а) сигнал получен на модели обмотки электродвигателя, б) осциллограмма получена реальной обмотке.

Как следует из представленных осциллограмм, совпадение сигналов на модели и реальной обмотки является достаточно высоким, что свидетельствует об адекватности модели обмотки.

Таким образом, по результатам представленных экспериментальных исследований, можно сформулировать следующие выводы:

Технология импульсного дефектографирования, успешно применяемая для контроля состояния обмоток трансформаторов, может быть применена к обмоткам электрических машин.

Предложенный метод контроля состояния способен обнаруживать тип дефекта и его локализацию.

В процессе контроля состояния обмотки используется только зондирующий импульс прямоугольной формы наносекундной длительности (400 нс). Сигнал отклика с других обмоток не регистрируются.

Предлагаемый метод прост, надежен и обладает достаточно высокой достоверностью, что позволяет рассматривать его как перспективный в условиях реальной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика электродвигателей. Метод спектрального анализа номинальных токов // Новости электротехники. – 2005. – № 31. – с. 50-52.
2. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество. – 1966. – № 1. – с. 77-81.
3. Аветиков В.Г., Левицкая Г.И., Попов Е.А. Импульсное дефектографирование трансформаторов при испытаниях на электродинамическую стойкость // Электротехника. – 1978. – № 4. – с. 5 –57.
4. Lavrinovich V.A., Isaev Y.N., Mytnikov A.V. Advanced control state technology of transformer windings // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, December 2013, Issue 17, Volume 5, Number 4, 2013. – № 4. – pp. 94 – 98.
5. Lavrinovich V.A., Mytnikov A.V. Development of pulsed method for diagnostics of transformer windings based on short probe impulse // IEEE Trans. Dielectric Electrical Insulation. – 2015. - № 22 (4). – p. 2041–2045.
6. Lavrinovich V.A., Mytnikov A.V., Hongda Li. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse // Resource-Efficient Technologies. – 2016. – № 2. –p. 111–117.

Научный руководитель: А.В. Мытников, к.т.н., доцент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.А. Садохина¹, М.А. Чекан²

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Институт энергетики, кафедра ЭССС, гр. ЭСб-14-2¹

Институт кибернетики им. Е.И.Попова, кафедра ВТ, гр. ЭВМб-15-1²

Введение. Развитие системы «человек — автомат» стало условием коренных преобразований в содержании и характере труда. Роль человека в производственном процессе оценивается по тому, в какой степени он освобождается от рутинных однообразных операций, а его труд насыщается в широком смысле творческим содержанием. Вычислительная техника стала служить базой для гуманизации производственной деятельности, для использования современных наукоемких технологий и освобождения человека от тяжелого, рутинного, нетворческого труда. Быстрое развитие информационных технологий дает большие возможности повышения интеллектуального потенциала для каждого человека.

Турбогенераторы – это синхронные электрические машины, вырабатывающие электроэнергию. Турбогенераторы устанавливаются и монтируются с различными видами турбин.

В зависимости от электрической мощности и технических задач по энергоснабжению производятся следующие типы турбогенераторов:

- турбогенераторы с воздушным охлаждением,
- турбогенераторы с масляным охлаждением
- турбогенераторы с водородным охлаждением,
- турбогенераторы с комбинированным водородно-водяным охлаждением,
- асинхронные турбогенераторы

Турбогенераторы с комбинированным водородно-водяным охлаждением предназначены для работы на атомных электростанциях (АЭС). Асинхронные турбогенераторы используются в составе мощных ТЭЦ и в энергосистемах со значительными колебаниями нагрузки. Асинхронные турбогенераторы также имеют комбинированное водородно-водяное охлаждение. Турбогенераторы с воздушным и масляным охлаждением применяются на тепловых электростанциях (ТЭС) с различной мощностью.

При проектировании турбогенераторов необходимо учитывать достаточно большое количество основных параметров и характеристик, производить большие и трудоемкие вычисления, а в некоторых случаях повторять один и тот же алгоритм расчета, используя при этом разные значения определенных

коэффициентов. Одним из таких алгоритмов является алгоритм электромагнитного расчета турбогенератора. В данном случае, предлагается автоматизировать расчет магнитной цепи турбогенераторов, который составляет значительную долю в полном расчете при проектировании турбогенераторов для ТЭС и АЭС.

Актуальность работы заключается в сокращении значительного времени, затрачиваемого при выполнении процедур расчета характеристик холостого хода, и исключения ошибок при ручном расчете, для турбогенераторов ТЭС и АЭС.

Постановка задачи. Создание универсальной программы на языке Python для расчёта характеристики холостого хода для турбогенераторов ТЭС и АЭС с различным числом полюсов и любым способом охлаждения.

Задачи автоматизации:

1. Анализ данных необходимых для расчета турбогенераторов с различным числом полюсов и любым способом охлаждения для ТЭС и АЭС.
2. Анализ алгоритма для расчета нужных характеристик, написание программы.
3. Тестирование и отладка программы.

Методы исследования. Для достижения цели были использованы следующие методы исследования:

1. Метод экспериментально-теоретического уровня: анализ алгоритма расчета турбогенераторов для ТЭС и АЭС и данных для написания программы.
2. Методы теоретического уровня: формализация данных непосредственно необходимых для расчетов турбогенераторов для ТЭС и АЭС.

Технология решения. Для автоматизации расчёта характеристики холостого хода была создана универсальная программа на языке программирования Python. В её основе лежит математическая модель, представленная в учебном пособии [1].

Главной задачей компьютерного алгоритма является выполнение электромагнитного расчёта и построение на его основе характеристики холостого хода (табл.1 и рис.1). В алгоритм заложена универсальность, то есть возможность расчётов для разных типов охлаждения и числа пар полюсов турбогенераторов, за счёт условных ветвлений и применения различных формул. Также особенностью алгоритма является полная автоматизация, в частности, определение напряженностей магнитного поля по кривым намагничивания для различных участков магнитной цепи по рассчитанным значениям индукций. Проблемой было определение величин напряженностей магнитного поля при индукциях, выходящих за пределы табличных значений и учет коэффициентов ответвлений магнитного потока в пазы статора и ротора, в том числе и промежуточных их значений, с графиков приложений. Проблема была решена путём преобразования графиков в таблицы с квантованными значениями кривых, и использованием интерполяции во время работы программы. Во время вычислений производится обязательная проверка получаемых значений индукций на вхождение в заданные нормами рекомендуемые пределы, и, в случае несоответствия, вычисления прерываются с рекомендациями для пересчёта.

В зависимости от типа охлаждения турбогенератора и числа полюсов формируется набор исходных данных, полученных при расчете главных размеров, основных электромагнитных нагрузок и обмоточных данных пазов статора и ротора. Набор представлен текстовым файлом со значениями входных переменных. Эти данные вводятся в программу с помощью диалога выбора файла при запуске. Результатом работы программы является электронная таблица в формате, открываемом приложением Microsoft Excel, и автоматически построенный график характеристики холостого хода.

Табл. 1. Расчет характеристики холостого хода (пример вывода программы)

E_0*	Ед. измер	0,6	1	1,1	1,2	1,3
E_0	В	8313,6	13856	15241,6	16627,2	18012,8
Φ_{δ}	Вб	4,101713981	6,836189969	7,519808966	8,203427962	8,887046959
B_δ	Тл	0,572407708	0,954012847	1,049414131	1,144815416	1,240216701
B_Z(1/3)	Тл	1,054304014	1,757173356	1,932890692	2,108608027	2,284325363
B_c1	Тл	0,960026678	1,600044463	1,760048909	1,920053356	2,080057802
H_Z(1/3)	А/м	294	14290	32280	75200	125000
H_c1	А/м	170	520	1132	4600	35200
F_δ	А	86092,04931	143486,7488	157835,4237	172184,0986	186532,7735
F_Z1	А	165,68664	8053,2724	18191,7168	42379,712	70445
F_c1	А	311,6597628	953,3122155	2075,287361	8433,146522	64531,90382
F_1	А	86569,39571	152493,3335	178102,4279	222996,9571	321509,6773
Φ_{S2}	Вб	0,584534485	1,029666563	1,202584471	1,505721629	2,170899914
Φ_2	Вб	4,686248466	7,865856532	8,722393437	9,709149591	11,05794687
B_Z(0,7)	Тл	0,681356601	1,14365538	1,268191473	1,41166078	1,607769018
B_Z(0,2)	Тл	0,70849066	1,189199831	1,318695397	1,467878165	1,671796136
H_Z(0,7)	А/м	1062,9	1479,6	1663,2	2420	5240
H_Z(0,2)	А/м	1087,2	1520,1	1846,4	2980	7160
F_Z2	А	405,29385	565,44345	661,5596	1017,9	2337,4
B_c2	Тл	0,265928685	0,446360644	0,494966204	0,550961264	0,627500929
H_c2	А/м	478,8	802,8	891	945,9	1015,2
F_c2	А	240,8873801	403,893878	448,2678691	475,8884145	510,7536932
F_20	А	87215,57694	153462,6708	179212,2554	224490,7456	324357,831
F_20*	о.е.	0,568317862	1	1,167790541	1,46283617	2,113594331
i_20	А	778,7105084	1370,202418	1600,109423	2004,381657	2896,052063

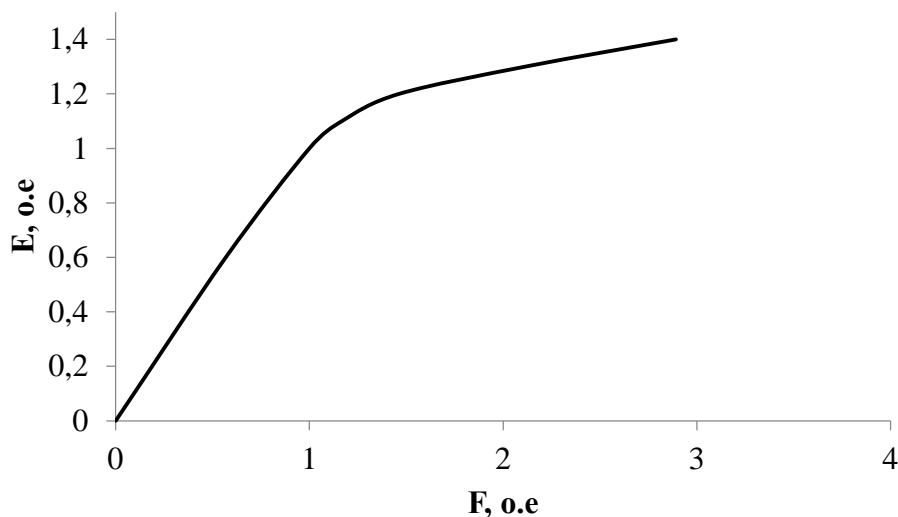


Рис. 1. Характеристика холостого хода турбогенератора

Заключение. Создана универсальная программа расчета турбогенераторов для тепловых и атомных электростанций на языке Python. Данная программа позволяет существенно сократить время расчета турбогенераторов для ТЭС и АЭС и исключить ошибки при выполнении этих расчетов при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Константинов Г.Г., Бутаков Ф.С. Современное состояние и развитие атомной энергетики в России и за рубежом. Повышение эффективности производства и использование электроэнергии в усл. Сибири/ Мат. Все-росс. науч.-практ. конф., т.2. - Иркутск: ИРНИТУ, 2016.-С. 147-149
2. Константинов Г.Г., Безгоднов А.В. Особенности проектирования турбогенераторов для атомных электростанций. Повышение эффективности производства и использование электроэнергии в усл. Сибири/ Мат. Все-росс. науч.-практ. конф., т.2.- Иркутск: ИРНИТУ, 2016.-С. 134-137.
3. Константинов Г.Г. Проектирование турбогенераторов: учебное пособие. - 4-е изд., перераб. и доп.- Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 312 с.

Научный руководитель: Г.Г. Константинов, к.т.н., профессор кафедры «Электропривода и электрического транспорта» ИРНИТУ.

К ВОПРОСУ О СИСТЕМЕ МИКРОКЛИМАТА АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА

А.Ю. Пищулин, П.А. Стрижак
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТП

Проблема обеспечения электрической энергией потребителя находящегося на значительном удалении от централизованного источника электропитания существует уже продолжительное время и обуславливается, прежде всего, его местоположением. Удаленные объекты потребления электрической энергии по причинам экономической нецелесообразности прокладки централизованного энергоснабжения остаются изолированными. В этой связи за многие годы реализовано достаточно много решений по электроснабжению удаленного потребителя. Наиболее распространенным решением является электроснабжение посредством дизель-генераторных установок.

В нынешней экономической ситуации в России, согласно стратегическому развитию страны [3], положен курс на сокращение потребления нефтепродуктов, что связано с ростом тарифов на дизельное топливо и заботой об экологии. По последним данным за время эксплуатации дизельных агрегатов на выработку электрической энергии накопилось тысячи тонн отходов в виде металлолома – бочки для транспортировки нефтепродуктов [1].

В связи с таким положением остро встает вопрос о разработке новых источников электроснабжения потребителей удаленных объектов, которые полностью или частично могли бы заменить дизельные агрегаты.

С целью адекватного построения системы электроснабжения необходимо разделить потребителя на категории согласно ПУЭ.

Данная разработка относится к первой категории особой группы потребителя электрической энергии. Потребителями данной группы являются технологическое оборудование удаленного специализированного объекта, перерывы в электроснабжении которого могут повлечь существенные экономические и экологические потери.

Исходя из данного задания по электроснабжению ответственного удаленного потребителя разрабатывается гибридный энергокомплекс на основе возобновляемых источников с долей замещения дизельного агрегата не менее 60%, алгоритмы которого должны обеспечить электропитание потребителя по первой категории особой группы. Дизельный агрегат в энергокомплексе выступает в качестве гарантированного источника электрической энергии.

Как и любое другое техническое изделие, энергокомплекс должен характеризоваться коэффициентом полезного действия, который в общем случае имеет отношение отдаваемой электрической энергии потребителю к производимой. С целью повышения коэффициента полезного действия первым этапом ставится задача минимизации потребления энергетических ресурсов на собственные нужды. Данная задача является многопрофильной и решается ком-

плексно затрагивая как конструктивные особенности здания, так и электрические характеристики применяемого оборудования.

В данном докладе упор делается на энергоэффективность системы микроклимата энергокомплекса, поскольку именно данная система является основным потребителем вырабатываемых энергоресурсов энергокомплексом на собственные нужды.

Система микроклимата должна обеспечивать температурный режим для безаварийной работы установленного внутри энергокомплекса оборудования. В зимний период года система микроклимата должна обеспечивать компенсацию рассеянного через ограждающие конструкции здания тепловой энергии, в летний – отвод избытков тепловой энергии за пределы здания, полученные от работающего оборудования и приноса тепловой энергии через ограждающие конструкции, в осенне-весенний период года обеспечить комплексный подход по поддержанию заданных температурных режимов.

Как правило, удаленный потребитель с технологическим оборудованием располагается выше 56 параллели северной широты, что обуславливается суровыми климатическими особенностями районов. Соответственно, больший упор делается на обеспечении температурных режимов в зимнее время.

Анализ имеющихся в промышленности решений подходящих для использования в системе микроклимата выделил два основных направления:

4. оборудование, использующее электрическую энергию для прямого преобразования в какой-либо вид энергии.
5. оборудование, посредственно использующее электрическую энергию.

К первой группе относятся электрические конвекторы, преобразующие электрическую энергию непосредственно в тепловую и обеспечивающие конструктивными особенностями хорошую естественную конвекцию.

Ко второй группе относится оборудование, использующее электрическую энергию для переноса теплоносителя из одной части системы в другую. Как пример, тепловой насос, солнечный коллектор.

Эффективность использования электрической энергии в этих двух группах существенно различается, что подтверждается технической документацией на оборудование. Так, если принять за эталон электрический конвектор с 1000 Ватт потребления электрической энергии, то произведенная тепловая энергия составит те же 1000 Ватт. Теплый насос при потреблении электрической мощности в 1000 Ватт сможет произвести тепловой энергии, в зависимости от состояния окружающей среды, в 3-5 раз больше, чем электрический конвектор. На основе тепловых насосов разработано большое количество различного оборудования. Как пример, кондиционер, геотермальный тепловой насос.

Ко второй группе так же относится солнечный коллектор. Различают плоские и вакуумные солнечные коллекторы. Основное различие их заключается в климатической зоне применения. Так для применения в районах выше 56 параллели северной широты целесообразнее применять вакуумные солнечные коллекторы по причине их возможного использования при температуре окружающей среды вплоть до -30 °С. Это обуславливается их конструктивными

особенностями, которые минимизируют тепловые потери через корпус изделия посредством вакуумной изоляции.

Поскольку электрическая энергия, вырабатываемая энергокомплексом, необходима для ответственного потребителя и любое ее даже не значительное потребление ведет к увеличению установленной мощности генерирующего оборудования, а как следствие накопителя энергии и силового оборудования, то целесообразно применять энергоэффективное оборудование.

У первой группы есть неоспоримое преимущество по удобству использования. Оно заключается в том, что нет необходимости в стороннем оборудовании, требующего дополнительного монтажа и отладки, то есть покупая электрический конвектор получаем законченное готовое решение. Но у этого решения есть существенный недостаток в его малой энергоэффективности. Представители второй группы не так просты в установке, отладке, но имеют в перспективе гораздо лучшие показатели энергоэффективности.

Рассмотрим обогрев помещения тепловой энергией равной 1000 Ватт. С целью сравнения поступления энергии возьмем солнечное излучение, чтобы сравниваемое оборудование оказалось в равных условиях. Для обеспечения электрической энергии электрического конвектора, а равно как и выработка тепловой энергии, в условиях падения солнечной энергии равной 1000 Вт/м², КПД солнечной панели изготовленные из монокристаллического кремния равного 20 % и номинальной мощностью 330 Вт (Exmork 330) с учетом преобразований необходимо установить 4 таких панели общей площадью 7,76 м². Для получения такого же количества тепловой энергии от солнечного коллектора с КПД 70 %, без учета дополнительного оборудования, поскольку оно не оказывает прямое влияние на выработку тепловой энергии, достаточно установить один коллектор площадью апертуры 1,6 м² (Vitosol 200-T SP2A), при этом количество потребляемой электрической энергии будет обуславливаться затратами на циркуляционный насос и вентилятор теплообменника для рассеивания тепла в здании энергокомплекса, что составит, в зависимости от производителей оборудования, порядка 200 Ватт.

При понижении температуры окружающего воздуха разница в энергоэффективности снижается за счет увеличения тепловых потерь солнечным коллектором и увеличении выработки солнечными панелями электрической энергии в виду особенностей кремния [2].

Как альтернатива солнечному коллектору может выступить геотермальный тепловой насос, который обеспечит более равномерное и независимое от окружающей среды (температура, осадки, время суток) поддержание температурного режима в здании энергокомплекса.

В виду не значительных тепловых потерь, которые должны быть обеспечены конструктивным исполнением здания, геотермальный тепловой насос будет иметь небольшие размеры, и тем самым малое электрическое потребление и капитальные затраты.

Помимо более стабильного теплоснабжения в зимний период года геотермальный тепловой насос обладает функцией холодоснабжения в летний период года, чем полностью перекрывает потребности энергокомплекса в обеспе-

чении микроклимата. Снабжение холодом в летний период обуславливается еще одной причиной - необходимостью возврата тепловой энергии в грунт «выкаченной» в зимний период года, с целью обеспечения стабильности работы геотермального насоса. Затрачиваемая энергия при работе теплового насоса составляет от 30 до 50 % от получаемой тепловой энергии, что говорит об энергоэффективности. Как уже было сказано, тепловой насос обладает неоспоримым плюсом в обратимости процессов, то есть установка одной системы полностью закрывает потребности энергокомплекса по обеспечению заданных параметров температуры системой микроклимата. Помимо этого, установка промежуточного бака-накопителя позволяет увеличить надежность работы системы микроклимата, накапливая тепловую энергию и далее используя ее по мере необходимости. Установкой дополнительного электрического ТЭНа, либо теплообменника солнечного коллектора в бак-накопитель, можно повысить отказоустойчивости системы в целом, что является еще одним из важнейших показателей.

В осенне-весенний период года, когда температура наружного воздуха позволяет использовать «свежий» воздух, целесообразнее всего применять precisely-вытяжную вентиляцию с механическим побуждением потока воздуха. Еще одно распространенное название данного метода – «фрикулинг». На данный момент этот метод с каждым годом становится более актуальным и все больше находит применение в виду своего главного достоинства – малых затрат, как капитальных, так и энергетических. Особенно наглядно это тенденция видна в центрах обработки данных, где для большей энергоэффективности добавляют функцию адиабатического охлаждения.

Потребление электрической энергии сводится к затратам на вращение осевого двигателя вентилятора, что составляет порядка 50 Ватт в рамках здания энергокомплекса. Электрические приводы клапанов потребляют при этом незначительные 2-4 Ватта на удержание в зависимости от сечения клапана. В случае небольших теплоизбытков внутри здания энергокомплекса, затраты на электрическую энергию будут обуславливаться клапанами, то есть использованием естественной вентиляции.

Таким образом, подход к выбору того или иного источника для системы микроклимата должен быть комплексным, рассматривая все возможные варианты энергоэффективности, как в отдельно взятом источнике, так и в их совокупности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ю.И. Соколов. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2. С. 18–27.
2. А.В. Козлов, А.В. Юрченко, Д.А. Пестунов Влияние параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т18. № 8. С. 731-734.

3. «Энергетическая стратегия России до 2030 года».
<http://www.minenergo.gov.ru/activity/ energostrategy/>.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ.

ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Д.Ю. Ткачук

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

Одним из самых перспективных направлений в проектировании электрических машин является разработка турбогенераторов с воздушным охлаждением мощностью более 100 МВт. Это обусловлено их простотой в эксплуатации, более высокой надежностью по сравнению с существующими аналогами, пожаробезопасностью, а также отсутствием дополнительных систем жизнеобеспечения. В ремонтной и аварийной документации турбогенераторов акцентируется внимание на большом количестве повреждений конструктивных элементов, вызванных тепловыми нагрузками. Увеличение мощности турбогенераторов и повышение надежности невозможно без надежного охлаждения их элементов. Для контроля теплового состояния в турбогенераторе установлен ряд измерительных приборов, однако в условиях эксплуатации контроль наиболее теплонагруженной лобовой части не предусмотрен. Поэтому тепловое состояние лобовых частей токопроводящих стержней, обоснование их надежности, особенно в режимах короткого замыкания, должен выполняться на этапе проектирования турбогенератора и его системы охлаждения. [1]

В настоящей работе представлено моделирование теплового поля турбогенератора ТФ-160 [2] – исследуется температурное распределение в номинальном режиме работы.

При тепловом расчете в мировой практике проектирования турбогенераторов применяются следующие методы:

1. метод развернутых эквивалентных схем;
2. аналитический метод определения теплового состояния;
3. метод конечных элементов.

В данной работе для моделирования температурного поля турбогенератора нами используется метод конечных элементов, реализованный на основе программы ELCUT. Модули ELCUT позволяют проводить анализ физических полей и получать решение связанных multidisciplinary задач в различных видах анализа. Основными этапами решения задачи расчета температурного поля в ELCUT являются следующие.

1. Выбор типа и класса решаемой задачи.
2. Создание геометрической модели объекта исследования (в нашем случае чертеж генератора выполнен в программе T-FLEX)

3. Задание свойств материалов и нагрузок. Свойства материалов представлены в таблице 1. [3]

Табл. 1.

Элементы	Теплопроводность (Вт/К·м)	Объемная плотность теп- ловыделения (Вт/м ³)
Воздух	0,028	0
Сердечник статора (сталь 1513)	25	1526100
Сердечник ротора (сталь 20)	56	0
Обмотка – медь (ротор)	400	159900
Обмотка – медь (статор)	400	111330

4. Построение сетки конечных элементов (рисунок 1).

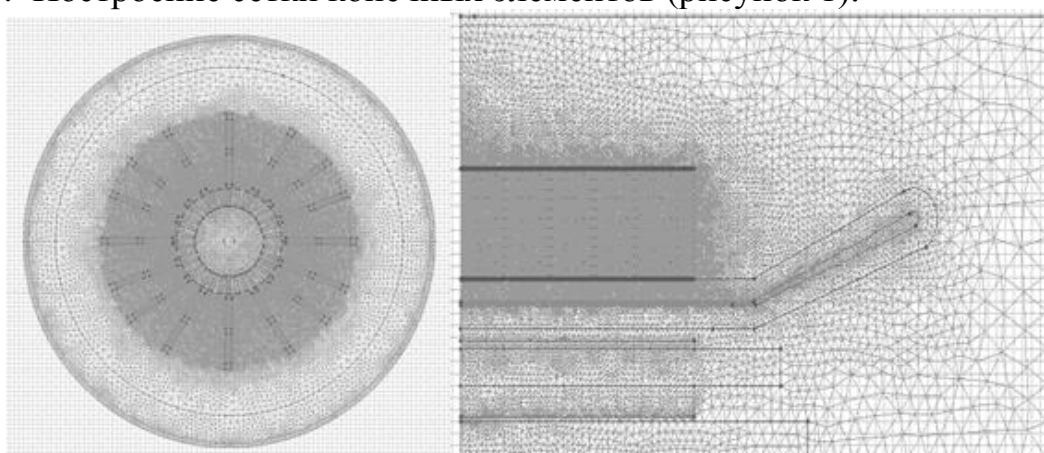


Рис. 1. Окна программы с построенной сеткой.

5. Решение задачи и получение результатов (рисунок 2).

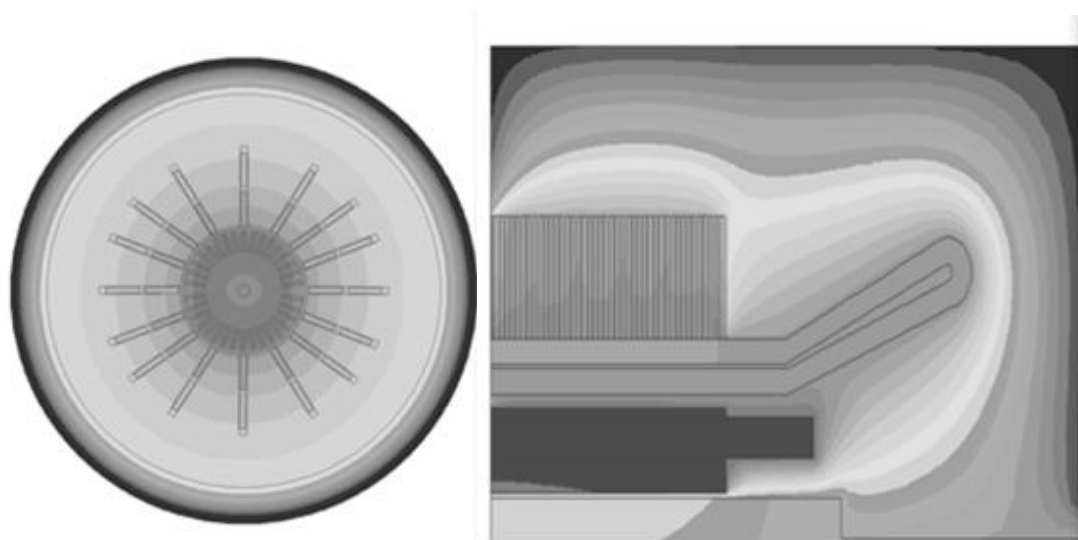


Рис. 2. Распределение температуры в продольном и поперечном сечении турбогенератора.

В таблице 2 представлены результаты расчета в программе ELCUT и рассчитанные ранее аналитическим методом значения максимальной температуры турбогенератора. [4]

Табл. 2.

	Рассчитанная температура	Температура, полученная в ELCUT
Обмотка статора	81	83
Сталь статора	117	117
Обмотка ротора	140,5	137

По результатам исследования температурного поля генератора можно сделать следующие выводы:

1. Численные методы расчета и современные программные продукты позволяют рассмотреть достоверную картину температурного поля и определить наиболее нагретые области.
2. При протекании номинального тока максимальная температура турбогенератора равна 140,5 °С.
3. В номинальном режиме максимальное значение температуры наблюдается в обмотке ротора, а минимальное значение температуры имеет вал.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Третьяк А.В. Температурное состояние стержней турбогенераторов с воздушным охлаждением при номинальном режиме и режиме короткого замыкания / А.В. Третьяк // Известия ТулГУ. Технические науки.— 2013.— № 6.— С. 270–277.
2. Номенклатурный каталог ОАО «Электросила», 2008.
3. Хуторецкий, Г.М. Проектирование турбогенераторов / Г.М. Хуторецкий, М.И. Токов, Е.В. Толвинская. — Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отделение, 1987.— 256 с.
4. Сипайлов Г.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, ВА. Жадан. — М.: Высш. шк., 1989.— 239 с.

Научный руководитель: Е.С. Дорохина, к.т.н., ассистент, кафедра ЭКМ ЭНИН ТПУ.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛА НОВНИКОЛЬСКОЕ АЛЕКСАНДРОВСКОГО РАЙОНА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Г. Гожин, И.А. Разживин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ74

Электроэнергетическая система (ЭЭС) Томской области входит в состав объединенной энергосистемы (ОЭС) Сибири. Имеющийся в энергосистеме де-

фицит мощности покрывается за счет «сильных» связей с соседними энергосистемами Кемеровской и Красноярской областей.

Дефицитность энергосистемы области является движущим фактором для поиска путей снижения ее зависимости от внешних поставщиков электроэнергии и тем самым повысить ее энергетическую безопасность [1-2].

Энергосистема Томской области состоит из южного и северного энергетических районов. В южном энергетическом районе расположена основная генерация (ГРЭС-2, ТЭЦ-3 и ТЭЦ СХК) и сконцентрирована большая часть нагрузки Томской энергосистемы. Северный же энергетический район испытывает дефицит генерирующих мощностей в силу природных особенностей, большой заболоченности и удаленности потребителей друг от друга. Осуществление питания от централизованных источников не представляется возможным, поэтому северная часть ЭЭС Томской области представлена отдельными энергоостровами и объектами малой генерации – Газотурбинные электростанции (ГТЭС), дизельные электростанции (ДЭС).

Если стоимость электроэнергии для населения России в среднем стоит 2,9 руб. за кВт/ч, то себестоимость электричества, вырабатываемого ДЭС – находится в ценовом диапазоне от 20 до 120 руб. за кВт/ч. Вся разница между тарифом и себестоимостью для потребителей компенсируется за счет средств областного бюджета, что составляет порядка 230 миллионов рублей в год [3-4].

С целью снижения нагрузки на бюджет Томской области в непростые для экономики региона и страны в целом времена предлагается перейти к альтернативным, нетрадиционным способам получения электроэнергии в отдаленных районах Томской области, путем использования возобновляемой энергии ветра и солнца.

Село Новоникольское Александровского района не имеет связи с централизованными источниками энергии и получает электроэнергию от ДЭС, что значительно удорожает ее себестоимость. Энергетический потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Александровском районе Томской области позволяет сделать выводы относительно эффективности использования энергии ветра и солнца. Среднегодовая скорость ветра в исследуемом районе равна 4,1 м/с, что согласно большинству распространенным рекомендациям и руководствам является допустимым значением для строительства малых ВЭУ. Также потенциал солнечного излучения в исследуемом районе равен 900 – 1000 кВт·ч/м²год, что говорит о целесообразности фотоэлектрического преобразования в данном районе [5].

Учитывая энергетические характеристики ВИЭ в данном районе, предлагается спроектировать ветро-солнечную электростанцию, для повышения надежности работы которой необходима установка ДЭС, которая будет резервировать ветроэлектрическую установку (ВЭУ) и солнечную электростанцию (СЭС) в периоды отсутствия солнечного излучения и ветра.

Для определения структурной схемы и состава энергетического комплекса был разработан суточный график нагрузки (рис. 1) для села Новоникольское, как для автономного поселения. Исходя из графика, была выбрана структурная

схема и определено оборудование электростанции для автономного электро-снабжения поселения.

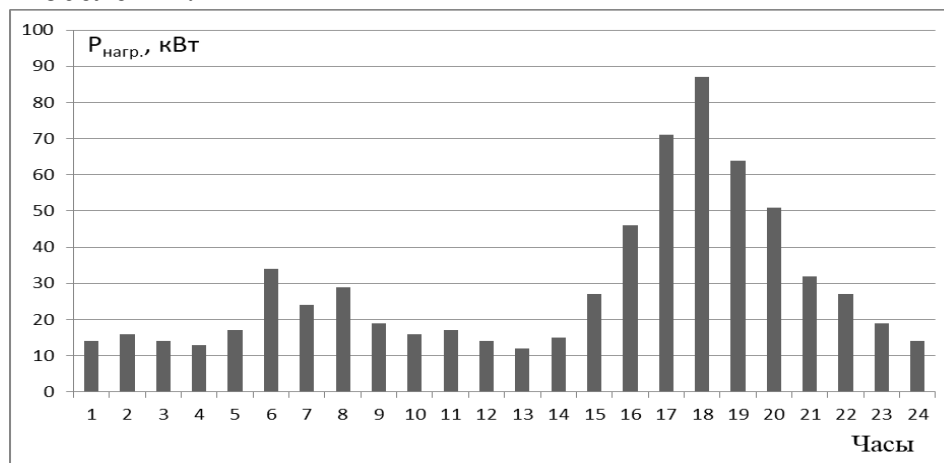


Рис. 1. График нагрузки

При малых и средних мощностях (до 100 кВт) энергетического комплекса, предлагается применить схему с подключением генерирующих установок к промежуточной шине постоянного тока, представленную на рисунке 2.

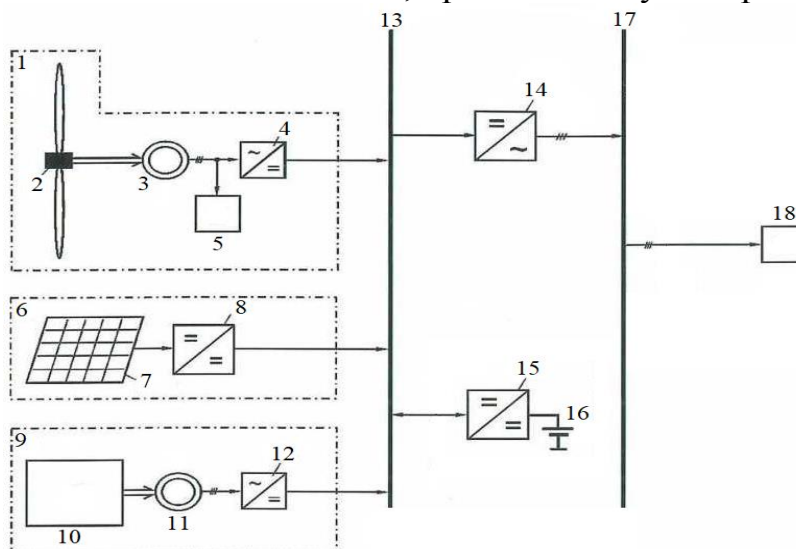


Рис. 2. Схема гибридной электростанции с подключением генерирующих установок к промежуточной шине постоянного тока

На рисунке 1, обозначены позиции: 1 - Ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3, 11 – синхронные электромашинные генераторы; 4, 12 – управляемые выпрямители; 5 – блок балластных нагрузок; 6 – фотоэлектрическая установка; 7- солнечная панель; 8 – конвертор напряжения; 9 – дизель генератор; 13 – шина постоянного тока; 14 – инвертор напряжения; 15 – двуправленный импульсный преобразователь; 16 – блок аккумуляторных батарей; 17 – шина переменного тока 220/380 В, 50 Гц; 18 – потребители 220/380 В.

Несмотря на сложную структуру энергетического комплекса, данная схема имеет большие преимущества, питание потребителей от общего автономного инвертора обеспечивает высокое качество отпускаемой электрической энергии. Схемы преобразователей значительно упрощены, для подключения СЭС и накопителя энергии, возможно включение в состав системы (через управляемый выпрямитель) ВЭУ с переменной частотой вращения.

Так как КПД силовой электроники является достаточно высоким, то потери мощности, связанные с двойным преобразованием электроэнергии силовыми конверторами и инверторами являются незначительными.

Исходя из выбранной схемы, определим состав оборудования энергетического комплекса и его стоимость и представим в таблице 1 [6].

Табл. 1. Состав оборудования и его стоимость

Оборудование	Колич., шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Ветроустановка Condor Air WES 380/50-30 - 30 кВт	3	1 790 000	5 370 000
Солн. модуль «ED-240» 240 Вт	42	13 200	554 400
ДГУ «SDMO» J44K Серия «MONTANA» (32 кВт, 380В)	4	680 000	2 720 000
Инвертор Fronius IG Plus 100 V-3 – 100 кВт	1	182 000	182 000
Управляемый тиристорный выпрямитель ТВН-3-230-125	3	47 300	141 900
Управляемый тиристорный выпрямитель ТВН-3-460-125	4	47 300	189 200
Гелевые АКБ DELTA GX 12-200	60	16 950	1 017 000
Силовой модуль для DTLTA NHPLUS-серии 20 кВА	6	102 175	613 050
Шкаф Delta Для NH PLUS max 120 кВА	1	714 218	714 218
Итого			11 501 768

Полученная автономная энергосистема состоит из 42 солнечных панелей объединенных в СЭС, трех отдельных ветрогенераторов объединенных в ветропарк и четырех дизель-генераторов. Все генерирующее оборудование подключено к шине постоянного тока, которая в свою очередь соединена с аккумуляторной батареей (АКБ) и шиной переменного тока. С шины переменного тока электроэнергия поступает к потребителям.

Предложенное решение по проекту ветро-солнечной электростанции на примере с. Новоникольское представляет большой интерес, с учетом относительно недорогой суммарной ее стоимости и самокупаемости. В северной части Томской области ВИЭ имеют достаточный потенциал для строительства малых и средних станций, которые могут обеспечивать автономное электроснабжение небольших поселений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Повышение эффективности комбинированных автономных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии\ автореф. дисс. на соискание уч. степени д.т.н. С.Г. Обухов, – Томск, 2013 – 41 с.

2. Паспорт программы развития электроэнергетики Томской области на 2012-2016 годы: Администрация Томской области распоряжение № 560-р от 16.06.2011. – 150 с.
3. Рейтинг стран Европы по стоимости электроэнергии для населения [Электронный ресурс] / URL: <http://riarating.ru/infografika/20160701/630029979.html>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения 12.09.2017
4. Бизнес-журнал Томская область: для малого и среднего бизнеса: [региональная версия] / ред. Д. Шиптенко. — Томск; М.: ООО "ИД Бизнес-журнал в Томске", 2013/05: - 34 с.
5. Кадастр возможностей / Под ред. Б.В. Лукутина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 280 с.
6. Малая и альтернативная энергетика – Ветрогенератор 30 кВт [Электронный ресурс] / URL: <http://energy-ds.ru/catalog/generating/vetrogenerator/vetrogenerator-condor-air-20-60kvt/vetrogenerator-condor-air-380-30-kvt.html> , свободный. – Яз. рус. Дата обращения 12.09.2017.

Научный руководитель: И.А. Разживин, ассистент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННО-ГИСТЕРЕЗИСНОГО ГИРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANSYS MAXWELL

А.А. Брянцев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

В настоящее время существуют программные комплексы позволяющие оптимизировать процессы расчета электромагнитных полей. ANSYS Maxwell – высокопроизводительное программное обеспечение для моделирования 2D и 3D электромагнитных полей, используемое для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного применения. ANSYS Maxwell базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method — FEM) и рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах [1].

В 2015 году ANSYS Maxwell расширил возможности моделирования векторного гистерезиса и гистерезисной модели потерь в стали. В предыдущих версиях Maxwell описывал только основную петлю гистерезиса. В последней версии стал описывать и частные петли гистерезиса [2].

Целью проведенных исследований является создание 2D модели синхронно-гистерезисного гидродвигателя в программной среде ANSYS Maxwell.

Маховик вместе с двигателем, приводящим его во вращение, называется гидродвигателем (ГД). Гидродвигатель является как по положению, так и по своему назначению центральным элементом гироскопического прибора Особен-

ность гироскопа заключается в том, что он стремится сохранить постоянство направления оси вращения маховика в абсолютном (инерционном) пространстве.

Принципиальной особенностью гистерезисных двигателей, связанной непосредственно с физикой их работы, является единый по своей природе электромагнитный момент в асинхронном и в синхронном режиме. То, что СГД имеет избыточный момент при любой скорости вращения, в том числе и при скорости, близкой к синхронной, позволяет ему входить в синхронизм при любом моменте инерции, что трудно получить от других типов синхронных двигателей [3].

Именно с этим связано в первую очередь применение гистерезисных двигателей в гироскопии. Кроме того, на стороне СГД простота, надежность и принципиальная симметричность конструкции ротора, а также относительно неплохие энергетические показатели, сопоставимые при малых габаритах с характеристиками двигателей иного типа. Для получения наилучших энергетических показателей используется только конструкция СГД с немагнитным материалом маховика.

В результате проведенного моделирования была настроена модель гиродвигателя в среде ANSYS Maxwell 2D. Модель представлена на рисунке 1. Далее проведена симуляция работы электродвигателя в режиме холостого хода и получены механические характеристики.

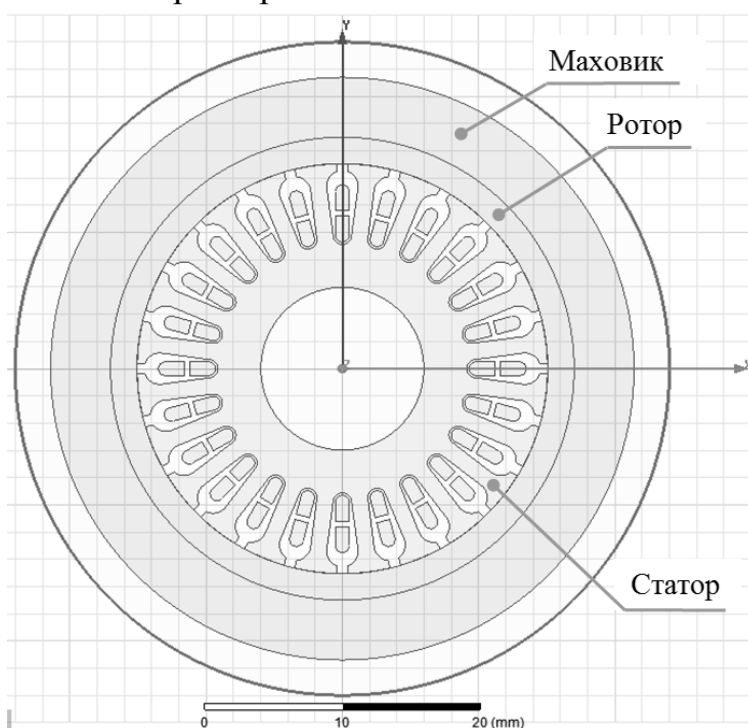


Рис. 1. 2D Модель магнитной системы гиродвигателя

Так как, ротор СГД намагничивается обмоткой статора. Поэтому СГД является недовозбужденным синхронным двигателем, что и определяет особенности его характеристик. Прежде всего из-за большого намагничивающего тока, потребляемого из сети, коэффициент мощности очень низкий.

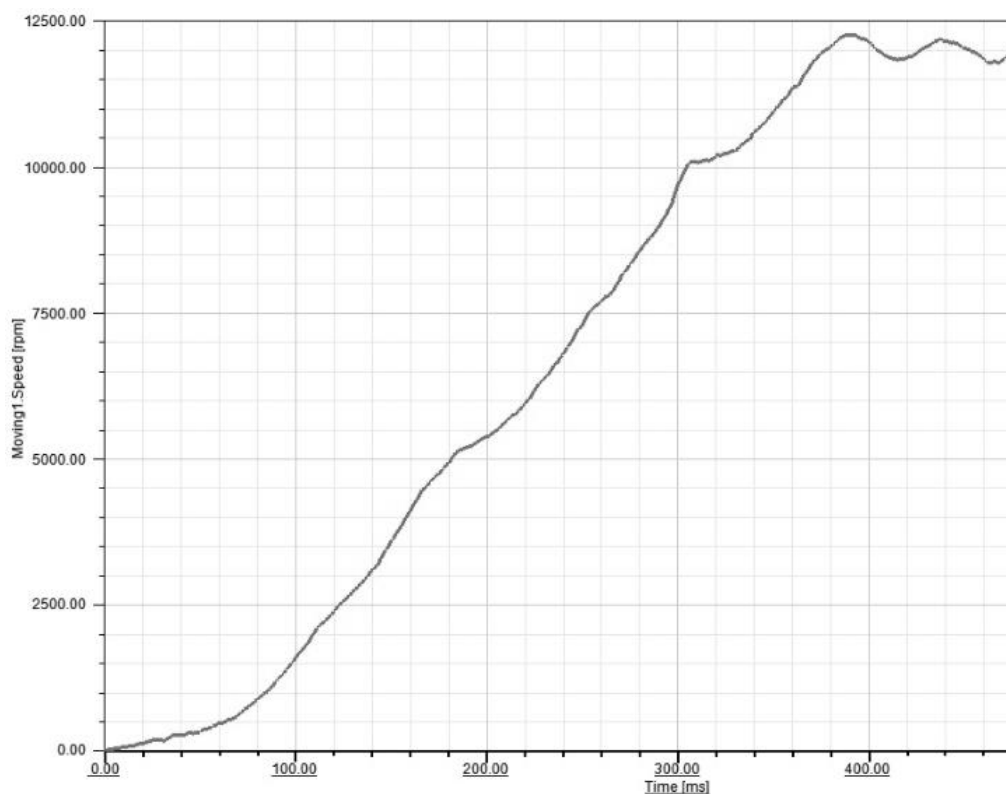


Рис. 2. График скорости

Вследствие низкого $\cos \varphi$, двигатель потребляет большой ток, имеет большие потери в меди и, следовательно, невысокий к.п.д. Ток статора в синхронном режиме слабо зависит от нагрузки, так как преобладающей в токе является намагничивающая составляющая, которая почти постоянна.

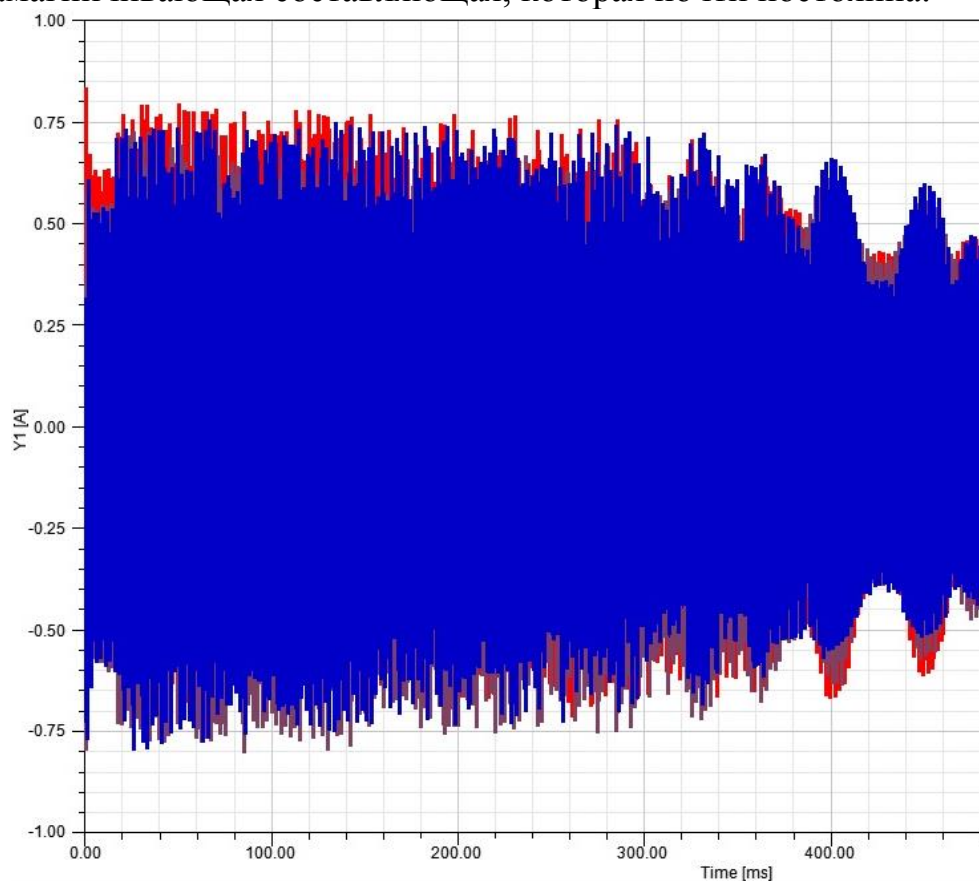


Рис. 3. График тока

Кратность пускового тока невелика и составляет около $k_p = 1,4$. Малая кратность тока является отличительной особенностью СГД, позволяющая с меньшим запасом выбрать мощность источника питания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ANSOFT Maxwell / ANSYS Maxwell [Электронный ресурс]. – URL: <http://ansoft-maxwell.narod.ru/>
2. Векторное 2D/3D-моделирование гистерезиса [Электронный ресурс]. – URL: http://cae-expert.ru/sites/default/files/delcam_ural0315.pdf
3. Делекторский Б.А. Проектирование гироскопических электродвигателей / Б.А. Делекторский, Н.З. Мастяев, И.Н. Орлов; под ред. И.Н. Орлова. — Москва: Машиностроение, 1968. — 252 с.

Научный руководитель: А.Г. Гарганеев, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭКМ ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.Ю. Верозуб

Томский политехнический университет

ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

Введение

К качеству электроэнергии на летательных аппаратах предъявляются жесткие требования к системе электроснабжения (далее СЭС), которые подробно описаны в ГОСТ Р 54073-2010 [1]. В частности, согласно ГОСТ, системы трехфазного переменного тока должны обеспечивать как трехфазное, так и однофазное электропитание с номинальным напряжением 115/200 В и номинальной постоянной частотой 400 Гц или переменной частотой 360...800 Гц. Допускается применение систем переменного тока с двойным номинальным напряжением 230/400 В постоянной частоты 400 Гц или переменной частоты 360...800 Гц. Форма кривой напряжения должна быть синусоидальной с номинальными напряжениями и частотами. Системы трехфазного переменного тока должны быть соединены в звезду с заземленной нейтралью (N). Последовательность фаз СЭС должна быть А-В-С.

Вращение фаз должно происходить против часовой стрелки (положительное). Проводка самолета (вертолета) и выводы оборудования должны маркироваться соответственно А, В и С. Значения перенапряжений и понижений напряжения для систем переменного тока постоянной частоты 400 Гц должны находиться в пределах, приведенных на рисунке 1.

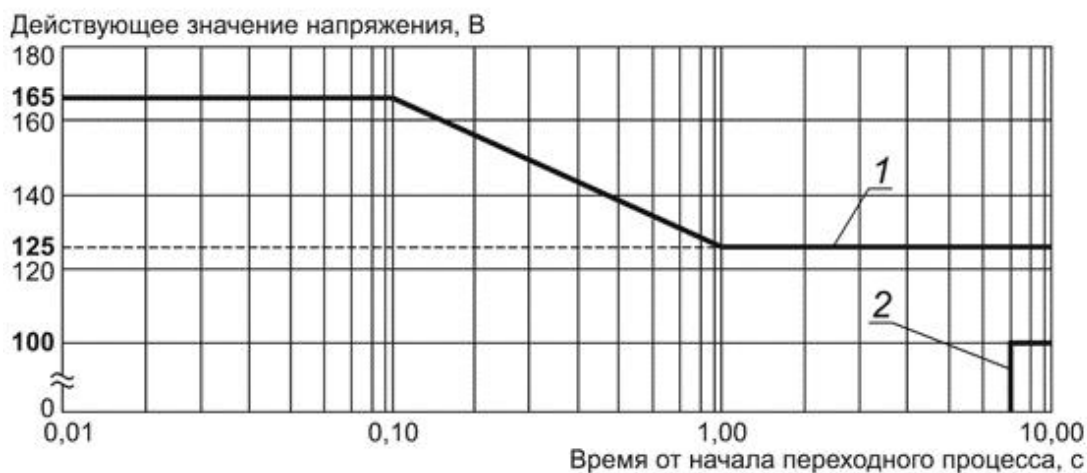


Рис. 1. Пределы ненормальных повышенных и пониженных напряжений переменного тока постоянной частоты 400 Гц: 1-Верхний предел значения напряжения, 2 – нижний предел действующего значения напряжения

Все характеристики электроэнергетики при аварийной работе СЭС должны быть такими же, как при нормальной работе, т.е. СЭС должна обеспечить вышеописанные характеристики даже при токах короткого замыкания в течение десяти секунд.

Проблемы реализации

Проблема реализации СЭС, которая обеспечила бы высокое качество электроэнергии, содержит ряд факторов. Во-первых, генератор, являясь основным звеном СЭС, должен быть регулируемым по напряжению и формировать синусоидальное симметричное напряжение хорошего качества. Наиболее эффективным является генератор с постоянными магнитами, однако, без применения дополнительного полупроводникового инвертора, регулирующего напряжение генератора за счет изменения типа реакции якоря, регулировка степени возбуждения и выходного напряжения невозможна [2]. Во-вторых, качество выходного напряжения генератора определяется типом обмотки и конструкцией зубцовой зоны, что часто противоречит требованию технологичности, а также снижения массо-габаритных показателей и стоимости. Применение выходных фильтров или структуры «выходной выпрямитель-инвертор» для формирования выходного напряжения также усложняет СЭС и снижает КПД. Кроме того, инвертор должен быть рассчитан на максимальную мощность с учетом токов короткого замыкания.

Дельта-инвертор в СЭС

Для стабилизации выходного напряжения генератора можно отказаться от двойного преобразования напряжения (выпрямитель, инвертор), а регулировать его с помощью вольтодобавочной (вычитающей). Для этого каждая фаза генератора подключается к нагрузке через вольтодобавочный (вычитающий) инвертор, рассчитанный по мощности лишь на мощность регулирования (дельта-инвертор, рисунок 2).

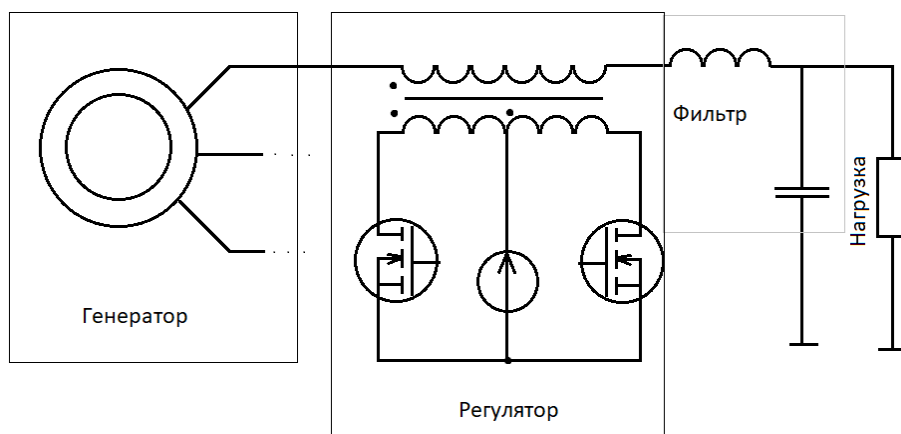


Рис. 2. Схема регулятора напряжения в СЭС.

Быстродействующие ключи дельта-инвертора в режиме высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) «парируют» все изменения напряжения генератора от нагрузки, а также исправляют его гармонические искажения. Преимуществом перед классической схемой «выпрямитель – инвертор» является меньшие потери на преобразователе, а также гальваническая развязка регулятора от всей силовой части. Также при перегрузках есть возможность закрыть ключи, что уменьшает вероятность выхода их из строя, хотя при этом отключается регулировка. В качестве дросселя «небольшого» выходного фильтра может служить индуктивность трансформатора.

Модель регулятора реализована и испытана в пакете Matlab R2016b. Были промоделированы различные варианты поведения генератора (провалы напряжения, искажения напряжения, изменение частоты питающего напряжения и т.д.) (рисунки 5 - 7). В качестве системы управления использован блок S-function, алгоритм работы которого написан на языке C. Блок берет опорный сигнал (идеальная синусоида), сравнивает его с напряжением генератора и корректирует ошибку с помощью ШИМ. Ширина импульсов пропорциональная величине ошибки. В качестве ключей в модели используются стандартные MOSFET транзисторы. В реальной же модели регулятора применены нитрид-галлиевые транзисторы, которые отличаются от классического MOSFET малым временем включения (~ 10 нс) и способностью продолжительно работать при высоких температурах. На рисунках ниже представлены модели результаты моделирования регулятора в среде Matlab.

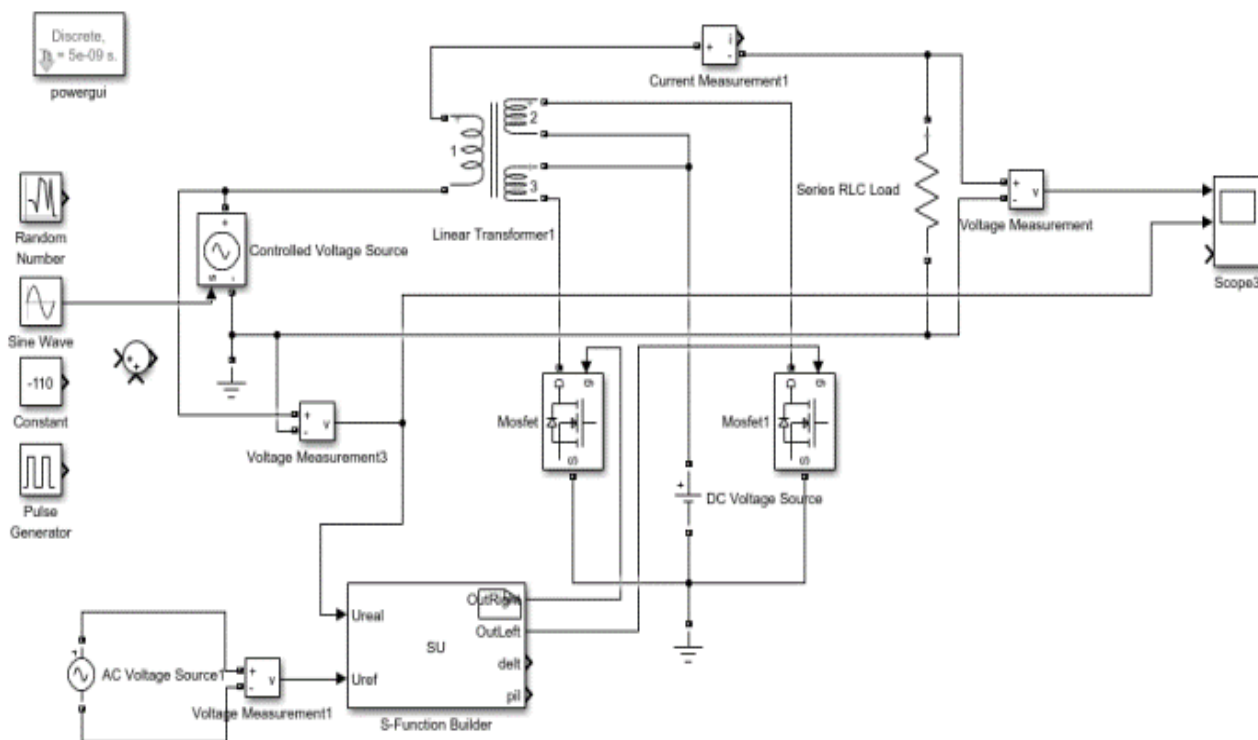


Рис. 3. Модель регулятора в Matlab.

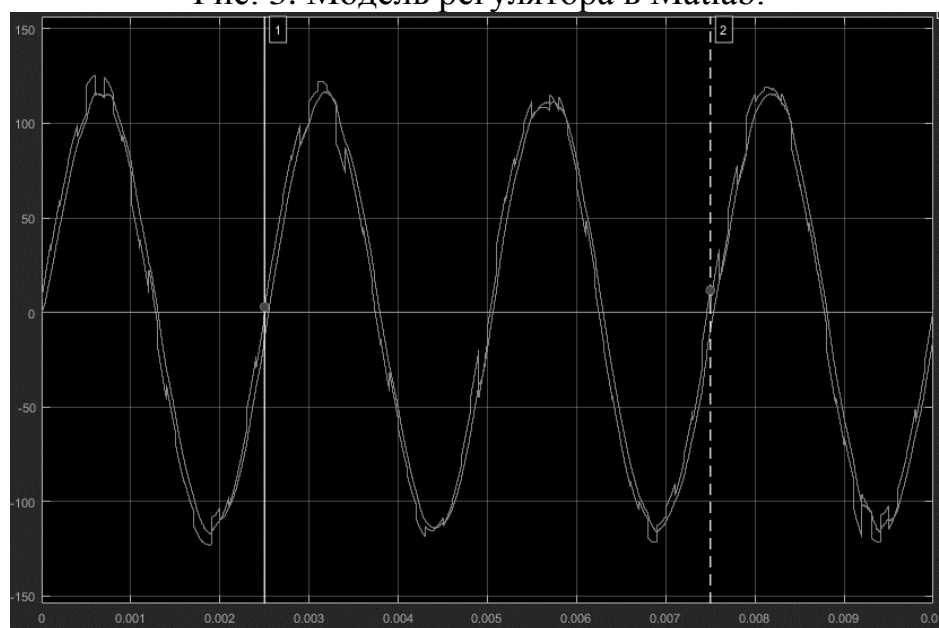


Рис. 4. Работа регулятора при внесении случайной ошибки ± 20 В.

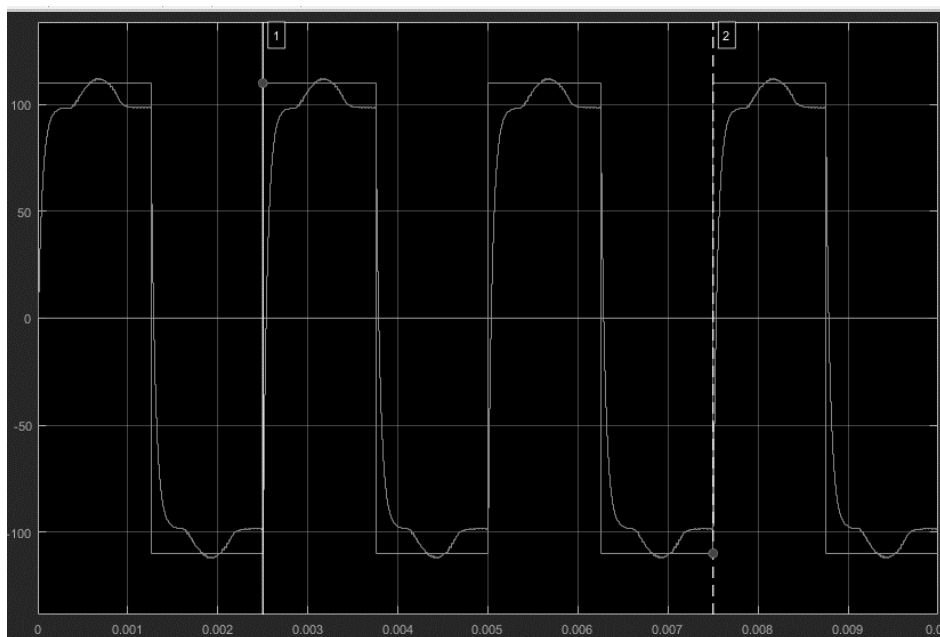


Рис. 5. Работа регулятора на чистый меандр.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 54073-2010 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества. Введ. 03.11.2010. □ Москва: Стандартиформ; 2011. □ 35 с.
2. Гарганеев А.Г. Системы электроснабжения самолета с полностью электрифицированным оборудованием / А.Г. Гарганеев, С. А. Харитонов // Доклады Томского университета систем управления и радиоэлектроники. № 2(20), 2009 г.

Научный руководитель: А.Г. Гарганеев, д.т.н, профессор, зав. каф.ЭКМ ЭНИН ТПУ.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.М. Соболев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

На газоперекачивающих промыслах используются нерегулируемые электродвигатели с постоянной частотой вращения, которые не исключают вредных динамических воздействий на оборудование в процессе работы и в переходных режимах, что приводит к необходимости частой замены наиболее нагруженных узлов и выходу оборудования из строя.

Многократные ударные нагрузки приводят к выходу из строя дорогостоящего технологического оборудования и к значительным затратам на его ремонт. Кроме того, прямой пуск высоковольтного электродвигателя большой

единичной мощности, сопровождаемый протеканием пусковых токов, сравнимых по величине с токами металлического короткого замыкания, приводит к глубоким посадкам напряжения питающей сети при каждой операции пуска, что отрицательно сказывается на устойчивости работы других потребителей. Большие пусковые токи, потребляемые электродвигателями в момент их пуска, и связанные с этим глубокие просадки напряжения, делают невозможным пуск в работу таких двигателей в случае их электроснабжения от газотурбинных, дизельных или иных электростанций ограниченной мощности.

Применение регулируемого электропривода в газодобывающей промышленности обеспечивает:

- требуемые скоростные характеристики привода буровых лебедок во всех четырех квадрантах механической характеристики;
- автоматическую синхронизацию и оптимизацию режимов последовательно работающих компрессорных станций на магистральном газопроводе;
- увеличение за счёт этого пропускной способности магистральных газопроводов;
- экономию до 30-40% электроэнергии, потребляемой насосными агрегатами;
- частотный пуск и останов высоковольтных двигателей без больших бросков пусковых токов;
- регулирование частоты вращения от 0,1 до 120 Гц в замкнутом и разомкнутом контуре;
- снижение аварийности оборудования и уменьшение затрат на ремонт и обслуживание, а также сокращение аварийных простоев производства;
- пуск двигателей из горячего состояния, позволяющий исключить простой агрегатов при ожидании естественного охлаждения;
- «самоподхват» при пуске электродвигателя в режиме свободного выбега;
- полную защиту двигателя от сверхтоков и нештатных режимов эксплуатации;
- значительное снижение ремонтных и эксплуатационных затрат при поддержании прежней производительности машин и механизмов;
- создание замкнутых систем асинхронного электропривода с возможностью точного поддержания заданных технологических параметров.

Преобразователь частоты высокого напряжения с воздушным охлаждением *Sinamics GM-150 6SL3810-2LN41-1AA0* (далее – ПЧ) производства фирмы *Siemens* предназначен для питания и управления электродвигателем и вместе с последним образует электропривод ЭГПА. ПЧ построен на базе мощных высокоэффективных полупроводниковых ключей IGBT, обеспечивающих высокий КПД преобразования энергии и компактность преобразователя. Основная функция ПЧ – регулирование скорости вращения асинхронного двигателя (далее АД), осуществляемая путем регулирования частоты напряжения, питающего АД.

Одной из основных проблем при эксплуатации ПЧ является просадка напряжения питающей сети. Решить эту проблему удастся работой ПЧ в режиме «Кинетическая поддержка».

Режим работы ПЧ «Кинетическая поддержка»

Кинетическая буферизация (кинетическая поддержка) – защитная функция, позволяющая сохранить в работе ПЧ при резком изменении напряжения питающей сети (просадки напряжения).

Одно из условий работы ПЧ состоит в поддержании выпрямленного напряжения в звене постоянного тока (ЗПТ) в диапазоне 4135÷5673 кВ.

При просадке напряжения питающей сети до 25% от номинального напряжения снижается и напряжение в звене постоянного тока. Если напряжение в звене постоянного тока снизится меньше, чем пороговое значение 4135 кВ, произойдет автоматическое отключение ПЧ.

Это связано с тем, что при восстановлении напряжения питающей сети произойдет резкий заряд конденсаторов. Это приведет к броску тока и напряжения в звене постоянного тока, что может вызвать выход из строя как диодов выпрямителя, так и конденсаторов.

На рисунке 1 представлен алгоритм срабатывания защитной функции ПЧ «Кинетическая буферизация».

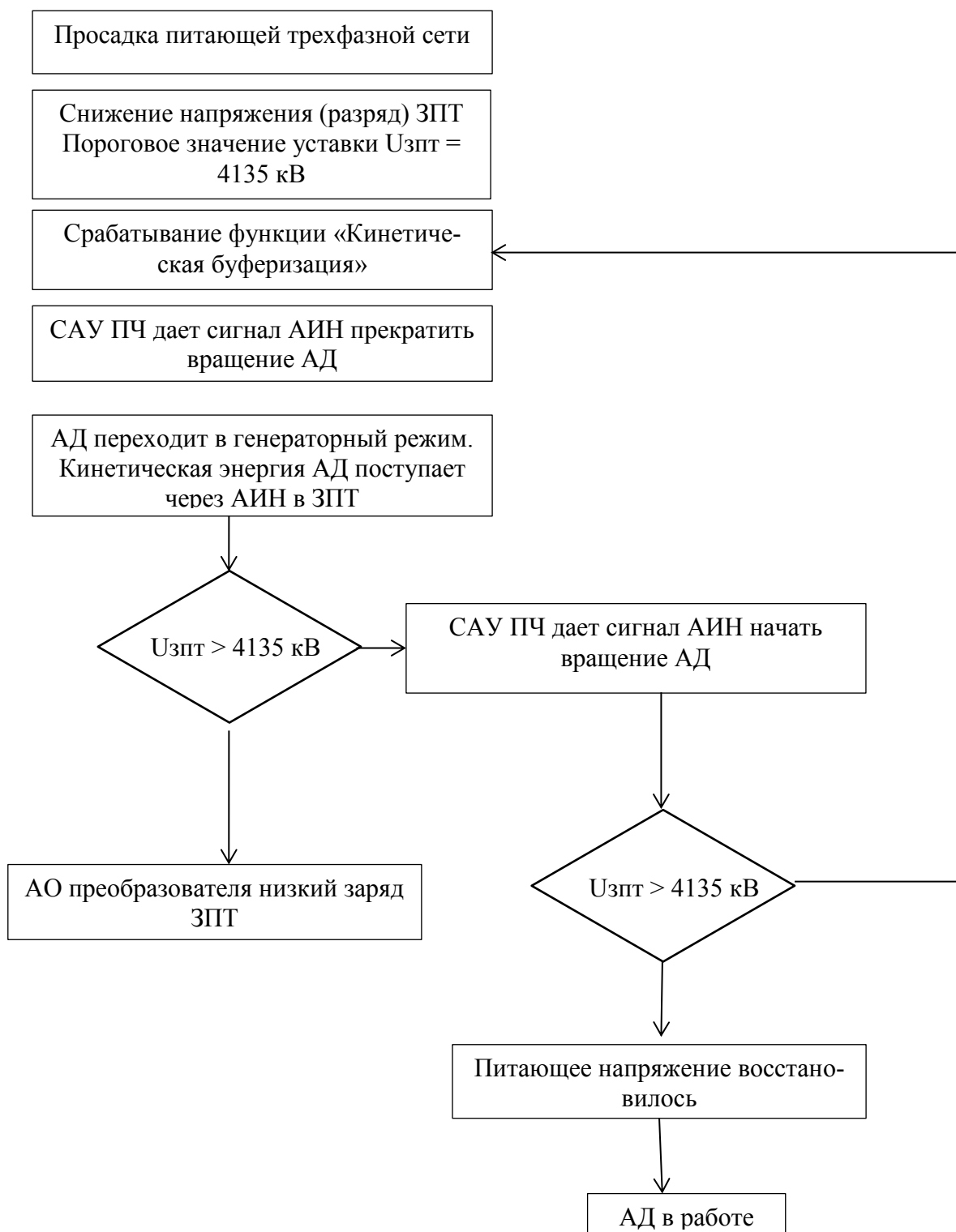


Рис.1. Алгоритм срабатывания защитной функции ПЧ «Кинетическая буферизация»

Далее представлен пример перехода ПЧ в режим «Кинетическая буферизация».

Просадка питающего напряжения на 14% длительностью 0,65 сек.

Начальная скорость АД = 7500 об/мин.

Потребляемая мощность = 3,9 МВт.

Напряжение ЗПТ = 4498 кВ.

Защитная уставка ПЧ на срабатывание кинетической буферизации $U_{dc_min} = 4135 \text{ кВ}$.

Осциллограммы ЗРУ-10кВ.

На рисунке 2 изображен график зависимости напряжения от времени на стороне ЗРУ-10кВ длительностью 650 мсек.

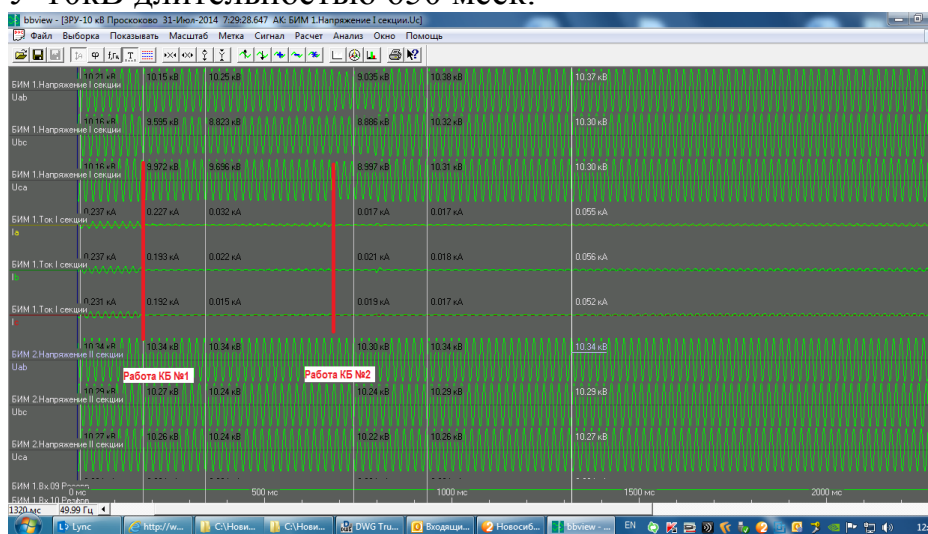


Рис. 2.- График зависимости напряжения от времени

На рисунке 3 представлено изменение напряжения звена постоянного тока в ПЧ.

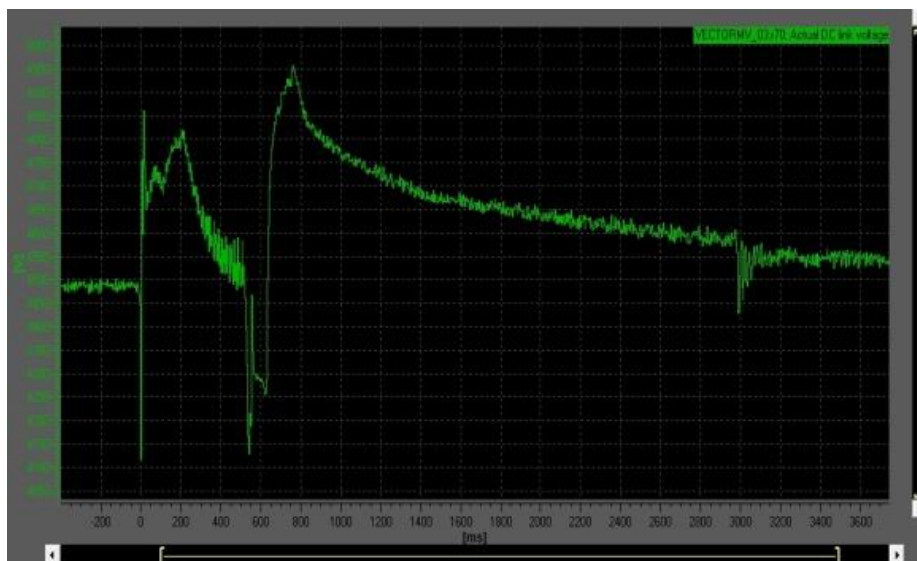


Рис. 3. Форма напряжения в звене постоянного тока

Заключение:

В ходе исследований преобразователя напряжения для газовой промышленности был разработан алгоритм срабатывания защитной функции преобразователя частоты при просадке напряжения питающей сети.

При просадке питающего трехфазного напряжения в диапазоне $10 \div 5,5 \text{ кВ}$ в звене постоянного тока ПЧ снижается напряжение ЗПТ $U_{зпт}$ до уставки срабатывания защитной функции ПЧ «Кинетическая буферизация» (4135 кВ).

Преобразователь частоты переводит асинхронный двигатель в генераторный режим (снижение частоты вращения, торможение АД), тем самым подзаряжая звено постоянного тока и удерживая в нужном диапазоне $4135 \div 5673 \text{ кВ}$.

По превышению уставки напряжения 4135кВ в звене постоянного тока преобразователь частоты пытается синхронизироваться и вывести АД на заданную скорость и мощность до возникновения возмущения в сети.

Если при этом напряжение звена постоянного тока не просаживается ниже уставки, то АД втягивается в работу.

Если просадка со стороны питающего напряжения 10 кВ длительная и напряжение звена постоянного тока снова снижается до уставки срабатывания «Кинетическая буферизация», то ПЧ разгружает АД для заряда оставшейся энергией звена постоянного тока.

Научный руководитель: Е.П. Богданов, к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО САМОЛЕТА

Ю.Ю. Альчин

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

Усложнение технических систем диктует необходимость создания соответствующих имитационных моделей, позволяющих уже на этапе проектирования не только оценить режимы работы систем, но и производить подготовку персонала, не прибегая к их реальному воплощению.

В представленной статье решается задача создания имитационной модели авиационной системы электроснабжения (СЭС) постоянного и переменного токов тяжелого самолета на примере Ил-76 в программном пакете Matlab Simulink.

Matlab - один из самых перспективных прикладных пакетов для моделирования. Интерактивная среда Simulink позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени [1]. Использование среды Simulink позволяет удобно изобразить структуру изучаемой системы, показать связи между объектами, при этом не требуется широких знаний языков программирования, численных методов математики. Одной из библиотек среды является Sim Power System.

Библиотека блоков Sim Power System ориентирована на моделирование устройств силовой электроники. В ее состав входят модели пассивных и активных электрических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов и т.п. оборудования. Используя специальные возможности библиотек, пользователь может имитировать работу устройств во временной области, выполнять различные виды анализа [2].

Для питания всех потребителей электроэнергии самолет Ил-76 оснащен:

- Системой переменного трехфазного тока напряжением 200/115В, стабилизированной частоты 400 Гц с заземленной силовой нейтралью;
- Системой переменного трехфазного и однофазного тока напряжением 36В, с частотой 400 Гц;
- Системой постоянного тока с напряжением 27В.

Система переменного трехфазного тока напряжением 200/115В является первичной и основной. Она состоит из двух независимых систем левого и правого бортов. Источниками электроэнергии в системе каждого борта являются два синхронных генератора типа ГТ60ПЧ6А. В подсистеме каждого генератора находятся привод постоянных оборотов (ППО), блок регулирования напряжения БРН-208М7Б, блок регулирования частоты БРЧ-62МБ, блок защиты и управления (БЗУ) БЗУ-376СП, а также измерительные трансформаторы, контакторы. Каждый генератор (канал) при раздельной работе подключается к шинам своего центрального распределительного устройства (ЦРУ). При отказе одного из них, его шины переключаются на питание от другого генератора. При выходе из строя одного или двух в одной системе предусмотрено ручное объединение шин двух систем (правого и левого бортов). Включении двух или трех каналов на параллельную работу осуществляется с помощью блока коммутации шин БКШ-76. Структурная схема электроснабжения переменным током для 1 канала приведена на рисунке 1.

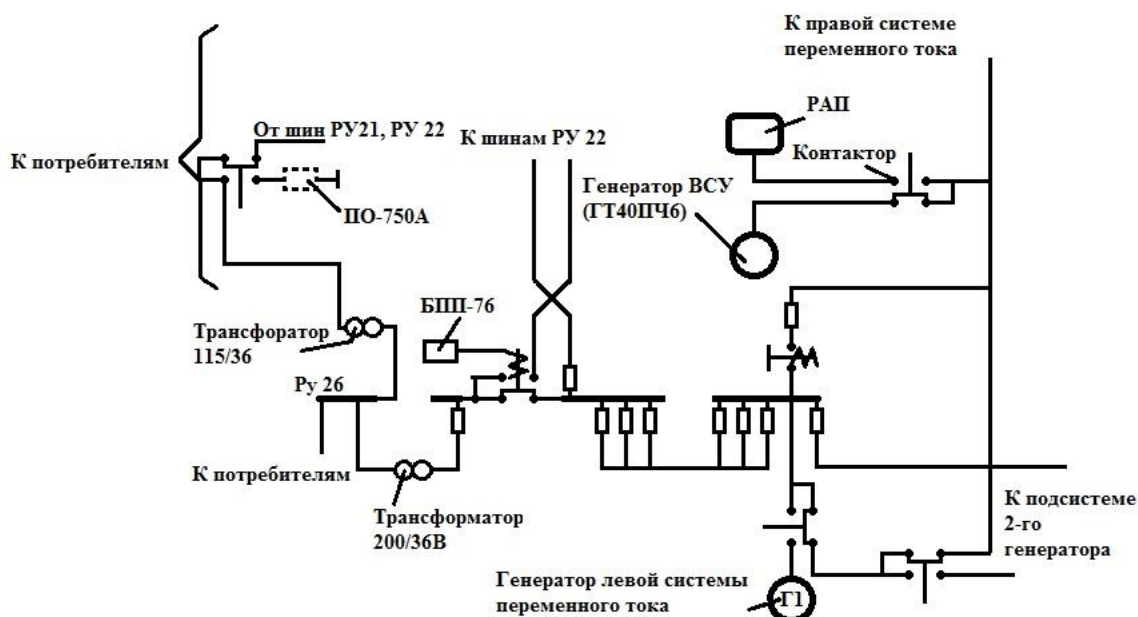


Рис. 1. Блок-схема электроснабжения переменным током (1-й канал)

Система трехфазного тока напряжением 36В является вторичной, она образуется трансформированием напряжения основной системы двумя трансформаторами ТС320СО4А.

Резервные (аварийный) источники переменного тока: генератор вспомогательной силовой установки ГТ40ПЧ6, который используется для питания потребителей электроэнергии на земле и в воздухе до высоты 3000 м, в случае отказа основных генераторов; преобразователь ПО-750А однофазного переменного тока 115В для питания приборов контроля работы двигателей, УКВ и ДЦВ радиостанций, топливомера, автомата углов атаки и сигнализации пере-

грузок; преобразователь ПТ-125-3с переменного трехфазного тока 36 В 400Гц для автономного питания резервного авиагоризонта и выключателя коррекции. Резервные источники запитываются от аккумуляторных батарей 27В.

Система постоянного тока 27В с «минусом» на корпусе самолета – вторичная. Она состоит из двух независимых систем левого и правого бортов. К каждой системе подключены по два выпрямительных устройства ВУ-6А (канала), управляемых комплексным аппаратом ДМР-200ВУ и работающих только параллельно. Каждое ВУ-6А питается трехфазным переменным током напряжением 200 В (Рисунок 2). В качестве аварийных источников постоянного тока применяется стартер-генератор ГС-12ТО с приводом от ВСУ, аккумуляторные батареи 20НКБН-25УЗ. При отказе одного канала электроснабжения постоянным током его потребители (шины) питаются от шин другого канала данной системы. Помимо этого, предусмотрено объединение шин потребителей обоих бортов вручную при отказе источников электроэнергии одной системы и автоматически при запуске ВСУ, при питании всей системы от аэродромного источника постоянного тока [3].

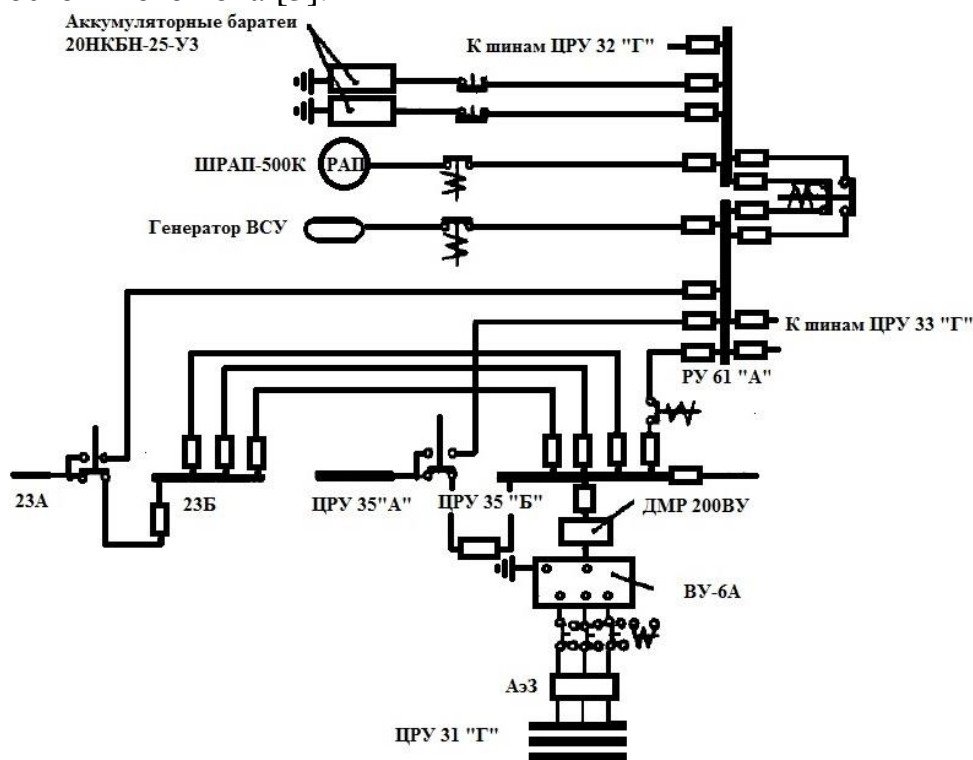


Рис. 2. Блок-схема электроснабжения постоянным током (1 канал)

В таблице 1 указаны значения нагрузок на шины для самых тяжелых условий работы: полет ночью с включенными противообледенителями. Данные значения помогут оценить точность полученной модели [3].

Табл. 1. Нагрузка на шины

Система	Нагрузка на систему переменного питания, кВА
Система левого борта	64
Система правого борта	70
Система	Нагрузка на систему постоянного питания, кВт
Система левого борта	7,0
Система правого борта	6,0

На рисунке 3 представлена модель системы питания без потребителей. В проекте реализованы: двигатель подсистемы генераторов с ППО и БЗУ, регулятор напряжения (Рисунок 4.а); система питания 36В и 27В.

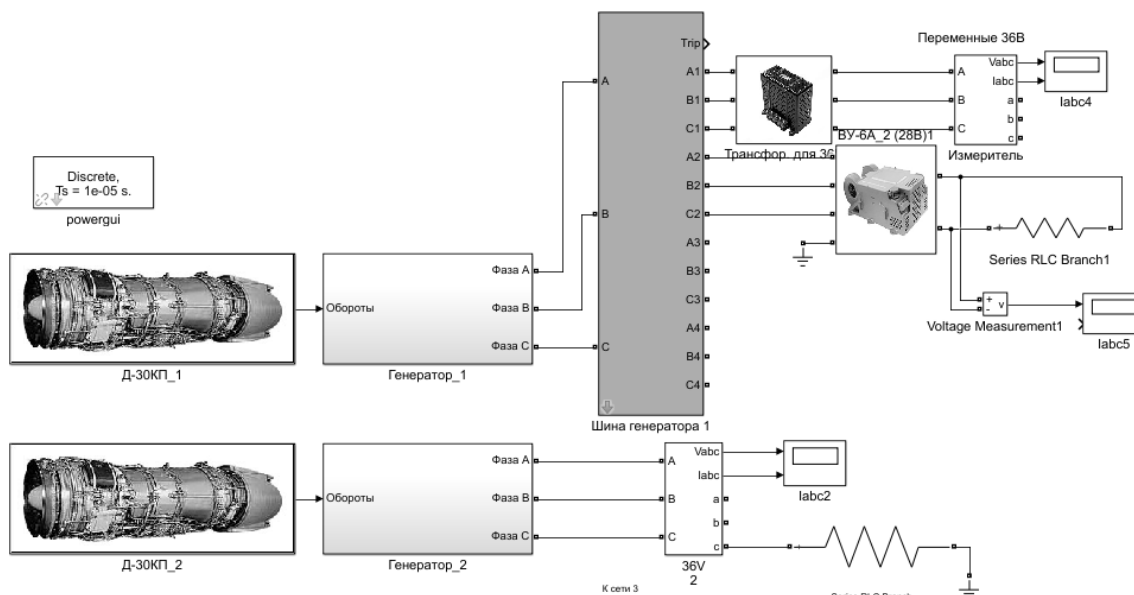


Рис. 3. Модель СЭС для двух генераторов

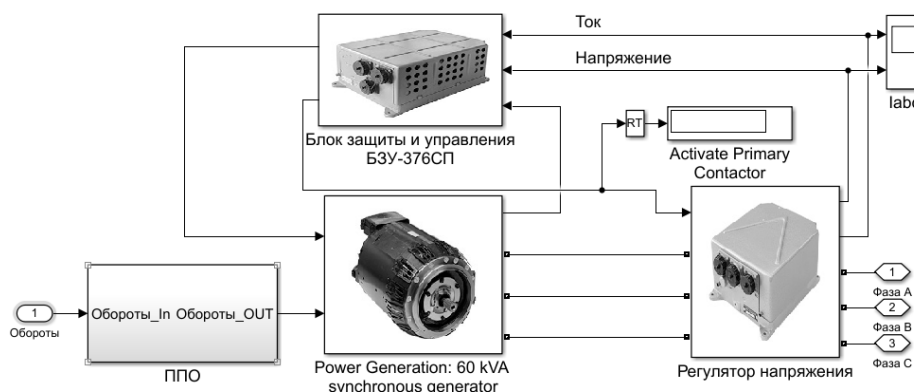


Рис. 4. Модель подсистемы генератора

ЛИТЕРАТУРА:

1. Matlab продукты и сервисы, Simulink. - [Электронный ресурс]. - режим доступа URL: <https://matlab.ru/products/simulink> (дата обращения - 05.09.2017).
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 386 с.
3. Система электроснабжения самолета // Самолет Ил-76ТД, Инструкция по технической эксплуатации. – М.: – 1978. – 388 с.

Научный руководитель: А.Г. Гарганеев, д.т.н., профессор, зав. каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЗАБОЙНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

М.А. Христиев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

Освоения новых нефтегазовых месторождений и модернизация существующих нефтегазовых кустов на прямую зависит от совершенствования технологии бурения скважин. Одним из основных параметров конкурентоспособности в нефтегазовой отрасли является разработка технологии бурения скважин с большим отклонением стволов от вертикали и с горизонтальными участками большей протяженности. В этом случае контроль бурения осуществляется забойной телеметрической системой.

На данный момент в России насчитывается более двух десятков предприятий, занимающихся производством и эксплуатацией подобных систем. Лидерами можно назвать, такие компании как: ООО “АрзамасПромГаз”, ЗАО “НПФ Самарские горизонты”, ООО “ЭкспертНефтеГаз”, ООО “Борец ПК” и др.

Среди мировых поставщиков технологий для комплексной оценки пласта, строительства скважин, управления добычей и переработки углеводородов, является компания “Schlumberger” (Шлюмберже). С 2015 года Томский политехнический университет и томский отдел компании Schlumberger («Шлюмберже») и ОАО «Сургутнефтегаз» совместно работают в этом направлении.

В качестве основного источника питания забойной телеметрической системы (ЗТС) выступает трехфазный синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов. Для обеспечения качественного питания инклинометрической аппаратуры необходимо преобразование энергии, вырабатываемой синхронным генератором. Для этого используется автономный инвертор напряжения. Стоит отметить, что в этом случае нагрузка скважинного генератора носит нестационарный характер. Работа генератора на такую нагрузку сопровождается сложными переходными процессами, приводящими к перегрузке генератора и изменению формы его выходного тока и напряжения. Также переходные процессы могут вызвать размагничивание постоянного магнита скважинного генератора. Исследование этих процессов в генераторе, а также их влияния на работу элементов телеметрической системы является востребованной задачей.

Целью данных исследований являются комплексное изучение работы магнитоэлектрического генератора и расчет схемы преобразования и управления генератором.

Первоначальным этапом работы стало имитационное моделирование поперечного разреза синхронного генератора (в двух исполнениях), необходимое для проверки правильности аналитического расчета, и представления наглядной картины распределения магнитного потока. Для достижения указанной цели были использованы программные продукты T-Flex 7.2 и Космос v16. С помощью программы Elcut v4.2 стало возможным определить магнитные поля электрических машин.

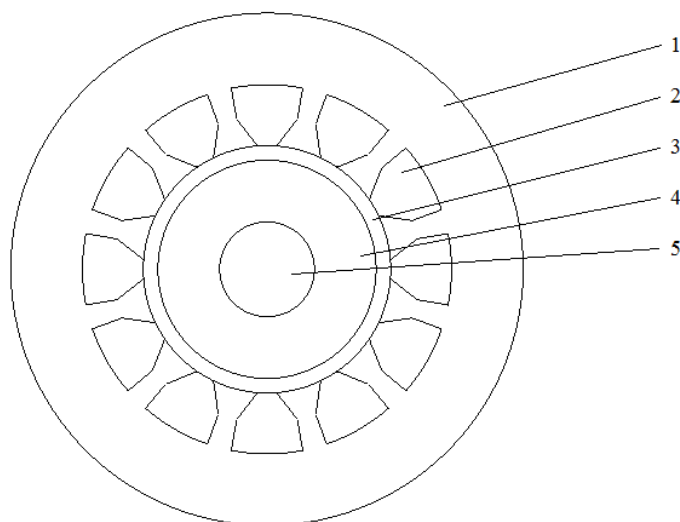


Рис. 1. Поперечный разрез синхронного генератора: 1 - ярмо статора, 2 - обмотка статора, 3 - воздушный зазор, 4 - магниты, 5 - вал.

Далее с помощью указанного программного обеспечения были указаны исходные данные, необходимые для моделирования: магнитная проницаемость материалов, направление намагниченности постоянных магнитов, граничные условия модели и параметры расчетной сетки.

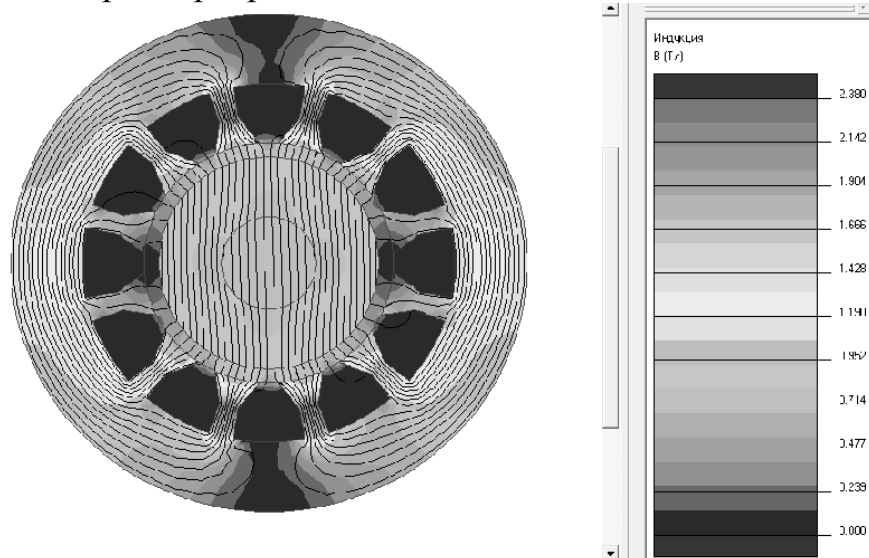


Рис. 2. Распределение магнитного потока в поперечном разрезе разработанного скважинного генератора($2p=2$, $Z=12$)

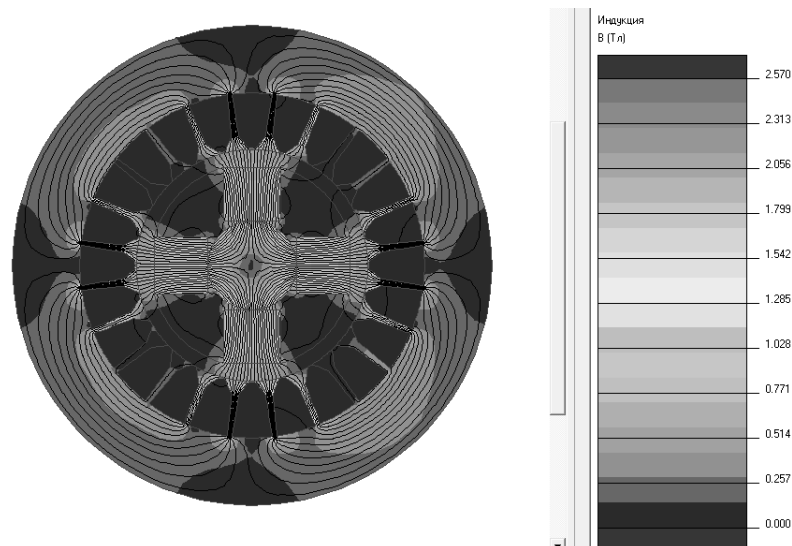


Рис. 3. Распределение магнитного потока в поперечном разрезе исследуемого скважинного генератора($2p=4$, $Z=24$)

В ходе проделанной работы стало очевидно, что магнитный поток замыкается по зубцам. В синхронном генераторе исполнения $2p=2$ ($Z=12$) максимальное насыщение зубцовой зоны равно 2.2 Тл, у того же генератор при исполнении $2p=4$ ($Z=24$) максимальное насыщение достигает 2.57 Тл.

В спроектированном генераторе ($2p=2$) расстояние между пазами больше, чем у исследуемого ($2p=4$), что положительно влияет на проходимость магнитного потока, отсюда следует, что токи и потери у двухполюсного генератора будут меньше, а вследствие более высокие значения коэффициента полезного действия

Причиной нестационарного характера нагрузки (пульсации напряжения и тока в статорных обмотках скважинного генератора) является работа автономного инвертора напряжения на однофазную нагрузку. Единственным очевидным решением этой проблемы является, исследование и разработка блока фильтров. Что требует создания комплексной модели работы ЗТС.

Для разработки и исследования комплексной математической модели, включающей в себя скважинный генератор, мостовой выпрямитель, блок фильтров, автономный инвертор напряжения и нагрузку необходимо использовать такие программные продукты как: MagNet и ThermNet 2D/3D. Эти два модуля, позволяют решать электромагнитные и цепные задачи, но при этом время расчета простой задачи является весьма продолжительным. Существенно выше, чем в Elcut и Jmag. Подходящим программным продуктом может стать программное обеспечение от компании ANSYS. Это приложения Maxwell 2D/3D и Simplorer. Приложение Maxwell 2D позволяет динамически связать модель с приложением Simplorer, а так же с Simulink для организации потока данных системного уровня, основанных на электромагнитных процессах. С помощью приложения Simplorer создается и объединяется в единую схему блоки скважинного прибора ЗТС, посредством которых происходит выпрямление, фильтрация и формирование выходного сигнала. Так же выбор программного продукта обуславливается дальнейшей перспективой создания модели в 3D формате.

Результатами исследований автономного источника питания ЗБС стало:

1. Выбор конструктивного решения (числа полюсов) магнитоэлектрического генератора, с учетом требуемых значений индукции в магнитопроводе и технологических факторов.
2. Выявлена необходимость проведения комплексных расчетов, объединяющих в себе исследования магнитного поля и работы цепи преобразования и управления.
3. Проведен обзор программных продуктов и выбрано программное обеспечение, позволяющие провести комплексное исследование

Дальнейшие исследования по данной тематике будут заключаться в проведение комплексного имитационного моделирования с помощью указанного программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Качин О.С., Киселев А.В. Исследование режимов работы системы синхронный генератор – схема питания – нагрузка с применением современных пакетов Maxwell и Simplorer[Электронный ресурс] // Научное издание. – 2012 – №. 4 – С. 1–8.
2. Грачев Ю.В., Варламов В.П. Автоматический контроль в скважинах при бурении и эксплуатации. М., Государственное научно-техническое
3. издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 2009
4. Генераторы питания скважинной аппаратуры научно-производственного предприятия «Самарские горизонты» [Электронный ресурс]. –Режим доступа : <http://www.sagor.ru/equipment/geo/generators.htm>, свободный.

Научный руководитель: А.В. Киселев, к.т.н., ассистент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ.

РЕКУПЕРАЦИОННО-ТЕПЛОВАЯ ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

С.М. Минько

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ6К

Рекуперационно-тепловая воздушно-аккумулирующая электростанция (ВАЭС) [Рис. 1], размещенная внутри теплоизолирующей трубы объединяет в своей конструкции 3 накопителя энергии (воздушно-аккумулирующий накопитель баллонного типа, маховиковый накопитель, тепловой накопитель) и рекуперационно-тепловую электростанцию полной мощностью 7500 КВА (6 МВт при $\cos \varphi = 0,8$) и с базовым КПД турбины в 90% [1].

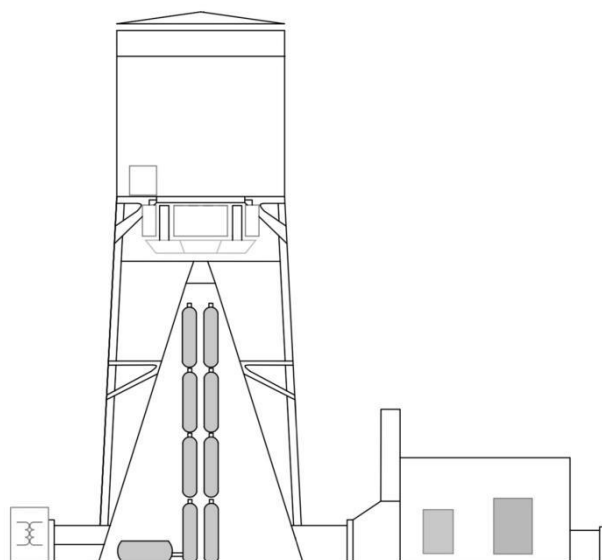


Рис. 1. Схема рекуперационно-тепловой воздушно аккумулирующей электростанции

Принцип работы ВАЭС: за счёт внешней электроэнергии (в т.ч. от передвижных ГТУ или ДЭС) 2 компрессора закачивают воздух в систему ресиверов ВАЭС. Общая ёмкость системы ресиверов ВАЭС составляет 1120 м^3 под давлением 14 бар. Воздух из двух верхних ресиверов через клапаны давления стравливается в центральную трубу и подаётся в сопло напорной камеры. Под действием пускового давления воздуха (14 бар) алюминиевая турбина ВАЭС, не имеющая вала и механических подшипников, свободнолежащая на опоре сопла напорной камеры, поднимается на нормативную высоту 5 см и раскручивается в режиме ускорения до нормативной скорости в 125 об/мин (частота 50 Гц при 24 парах полюсов). Строго вертикальный подъём и не замыкание ротора на статоры (в генераторе ВАЭС предполагается использование 2 статоров [2]) обеспечивают два боковых магнитных подшипника. Не допускает подъёма турбины выше нормативного уровня верхний магнитный ограничитель. Выход на нормативный режим работы осуществляется за 6-10 секунд. После выхода турбины и ротора ВАЭС на нормативный режим работы уровень давления воздуха снижается до уровня поддерживающего давления (расчётный показатель 8,4 бар).

Во время пуска энергоустановки ВАЭС вся вырабатываемая статорами генератора электроэнергия направляется на электрический нагреватель ВАЭС. После выхода турбины и ротора ВАЭС на нормативный режим работы электроэнергия отправляется на трансформаторную подстанцию и далее по следующим направлениям:

- 1/6 мощности (1 МВт) – на компрессор ВАЭС с целью восстановления истраченного на запуск ВАЭС запаса сжатого воздуха;
- 5/6 мощности (5 МВт) – внешним потребителям.

Компрессор Centac C1000 [3] ВАЭС мощностью 1 МВт, работая в нормативном режиме (производительность $200 \text{ м}^3/\text{мин}$, давление 10,3 бар) примерно за 5-6 минут полностью восстановит весь истраченный при пуске установки ВАЭС запас сжатого воздуха и, при этом, обеспечит поддержание нормативного уровня рабочего давления в сопле ВАЭС.

Тепло, выделившееся в процессе работы компрессора, ресиверов, электронагревателя, трансформаторов ВАЭС нагреет окружающий воздух. Под действием силы тяги в трубе этот тёплый воздух поднимется вверх к соплу напорной камеры. За счёт притока этого тёплого воздуха по закону состояния идеального газа в сопле повысится уровень давления воздуха. Автоматика ВАЭС, пропорционально повышению давления воздуха от притока дополнительного теплого воздуха, будет сокращать подачу в сопло напорной камеры сжатого воздуха из ресивера. Таким образом, в сопле напорной камеры будет поддерживаться постоянный нормативный уровень давления воздуха, что обеспечит постоянную скорость вращения турбины и ротора ВАЭС и постоянную выработку полной электрической мощности генератора ВАЭС (7500 КВА).

При сокращении потребности в электроэнергии ВАЭС со стороны потребителей, «лишняя» электроэнергия направляется на графитовый электронагреватель, покрытый базальтом и оксидом магния в нагревательной камере ВАЭС, что пропорционально увеличивает температуру и давление воздуха в нагревательной камере (электронагреватель становится тепловым накопителем энергии). Это позволяет сократить потребление сжатого воздуха из ресиверов ВАЭС, сократить время работы компрессора ВАЭС, и расходы электроэнергии на его работу. В случае обратного увеличения потребности в электроэнергии ВАЭС со стороны потребителей, распределительное устройство мгновенно перераспределит электроэнергию с электронагревателя внешнему потребителю. Такой режим работы турбины и генератора ВАЭС, при котором уровень давления воздуха, подаваемого на турбину, скорость вращения турбины, и выдаваемая электрическая мощность генератора являются константами, на меняющимися во времени в течение многих лет, позволяет использовать силу инерции вращения турбины и ротора в качестве дополнительного источника энергии (принцип действия маховикового накопителя энергии).

Режим работы ВАЭС позволяет её использовать в качестве автономного источника электроснабжения удаленных населенных пунктов, не подключенных к общественной электросети. При этом электроэнергия, производимая ВАЭС, будет качественной (частота 50 Гц \pm 0,1%), недорогой (себестоимость производства 0,4 руб за 1 кВт·ч) и экологически чистой.

Конструкция ВАЭС позволяет использовать для выработки электроэнергии и ветровую и солнечную энергию. В комплексе с рекуперационно-тепловой ВАЭС технологию производства ветровой и солнечной электроэнергии можно предельно упростить. Если электроэнергию с генератора ветряка без преобразования направить на ТЭН в нагревательной камере ВАЭС, то мы, за счёт этой энергии, с высоким КПД получим электроэнергию с частотой 50 Гц на генераторе ВАЭС. В этом случае на ВЭС становятся излишними все преобразующие электроприборы (выпрямитель, аккумулятор, инвертор и трансформатор). Точно также, если постоянный ток с солнечных панелей направить на ТЭН в нагревательной камере ВАЭС, то мы преобразуем эту энергию в электроэнергию ВАЭС с высоким КПД. И тогда излишними становятся инвертор и трансформатор в СЭС. ТЭН одинаково преобразует в тепловую энергию электрическую энергию любого качества (переменный ток неопределённой частоты, постоян-

ный ток, ток частотой 50 Гц) – важно только не смешивать эти токи в одном проводнике.

В данной комплексной ветро-солнечной ВАЭС ветряки и солнечные панели выступают просто дополнительным оборудованием к ВАЭС и обслуживаются персоналом ВАЭС. Учитывая, что ВАЭС работает в автоматическом режиме, то для её обеспечения её работы нужен только один человек. Так как один человек не может работать непрерывно 24 часа в сутки, то можно оценить количество необходимого персонала для работы ветро-солнечной ВАЭС мощностью 6 МВт в 4 человека. Таким образом, производительность труда на такой комплексной ветро-солнечной ВАЭС будет сопоставима с производительностью труда на средней ТЭС, и будет существенно выше производительности труда на ВЭС и СЭС.

Технологическая связка с ВАЭС позволяет и принципиально иначе - существенно эффективнее организовать процесс преобразования солнечной и ветровой энергии в электрическую. Электрический КПД кремниевых солнечных панелей составляет 10-15%. 85-90% энергии солнца на солнечных панелях превращается в тепловую энергию и теряется посредством излучения в атмосферу. Но есть известный способ улавливания, концентрации и направления в нужное место световой энергии с помощью стеклянных линз и оптического кабеля. То есть, солнечную энергию в ВАЭС можно улавливать панелями, оснащенными не кремниевыми фотоэлементами, а стеклянными линзами, которые концентрируют солнечную энергию и по стеклянному оптическому кабелю могут её направить непосредственно в нагревательную камеру ВАЭС. Световая энергия, направленная с оптического кабеля на нагреватель чёрного цвета, расположенный внутри нагревательной камеры ВАЭС, с КПД близким к 100% превратится в тепловую энергию нагревателя. Нагреватель, принимающий концентрированную солнечную энергию, целесообразно изготовить из дешевого черного камня обсидиан с температурой плавления 1300-1500°С. Нагреватель нагреет воздух, этот тёплый воздух через сопло напорной камеры попадёт на турбину ВАЭС, что обеспечит выработку электроэнергии ВАЭС с КПД, близким к 90%. Таким образом, КПД преобразования энергии солнца, улавливаемого стеклянными панелями, и направляемыми в ВАЭС можно оценить в 75-80%, что в 8 раз выше сегодняшнего уровня. При этом стеклянные линзы намного дешевле кремниевых фотоэлементов.

Сегодня электроснабжение населенных пунктов, не подключенных к общественной электросети, осуществляют, как правило, дизельные электростанции (ДЭС). После пуска ветро-солнечной ВАЭС работу старых неэкономичных ДЭС можно прекратить, но их нельзя демонтировать – целесообразнее их сохранить в качестве резервной электростанции. Дело в том, что в случае остановки работы ВАЭС (хотя вероятность этого события очень незначительна) - запустить её в работу обратно без внешней электроэнергии, на уровне 1-2 МВт мощности, невозможно. Именно для этого случая в изолированных населенных пунктах будет целесообразно держать в резерве ДЭС с запасом топлива на 1-2 суток работы.

Мощность типовой ВАЭС на уровне 7500 КВА (6 МВт при $\cos \varphi = 0,8$), как правило, превышает текущую потребность изолированного населённого пункта в электроэнергии. Но предлагается строить ВАЭС именно этой мощности, так как ВАЭС меньшей мощности экономически неэффективна, а при снижении стоимости электроэнергии происходит рост её потребления.

Стоимость строительства комплексной ветро-солнечной ВАЭС полной мощностью в 7500 КВА в удаленной местности составит около 280-300 миллионов рублей в ценах 2017 года. Таким образом удельные капитальные затраты на 1 кВт мощности составят около 900 \$, что выше уровня современных ТЭС, но ниже уровня удельных капитальных затрат в АЭС, ГЭС, СЭС и ВЭС. Срок окупаемости строительства ветро-солнечной ВАЭС зависит от уровня цен на электроэнергию и размера бюджетных дотаций, которые сегодня применяются в отношении действующей дизельной электростанции изолированного населенного пункта. Средний уровень себестоимости электроэнергии, производимой сегодняшними ДЭС, составляет от 10 до 20 рублей за 1 кВт·ч. Себестоимость электроэнергии ветро-солнечной ВАЭС, работающей с отпускной мощностью в 5 МВт составит 0,4-0,6 руб за кВт·ч, с отпускной мощностью 1 МВт (коэффициент использования установленной мощности в 20%) – 2-3 руб за кВт·ч. Соответственно экономия в год при отпускной мощности в 5 МВт составит 83,2 млн. руб, а при отпускной мощности в 1 МВт – 61,3 млн. руб. Срок окупаемости при 5 МВт и 1 МВт 3,6 года и 4,9 лет соответственно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Интех ГмбХ. Турбодетандеры. Режим доступа: http://www.intech-gmbh.ru/turbine_expanders.php
2. R. Suhairi, R.N. Firdaus. Performance Characteristics of Non - Arc Double Stator Permanent Magnet Generator | Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 53, 201 – 214, 2017
3. Ingersoll Rand/Centac C1000 Centrifugal Air Compressor. Режим доступа: <https://www.ingersollrandproducts.com/en-eu/air-compressor/products/centrifugal-compressors/c1000-centrifugal-air-compressor-23581.html#tab-2-45b0281d-a015-4b34-9cc6-b3ce51016171>

Научный руководитель: И.А. Рахматуллин, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ ANSYS MAXWELL ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

И.Б. Кутбидинов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

Шаговые двигатели используются уже давно, их успешно применяют в промышленном оборудовании и самых разных устройствах, приводах дисковых и т.п. Шаговые двигатели – это одна из разновидностей бесколлекторных двигателей постоянного тока. Они совершенно другой тип двигателей постоянного тока. Основное отличие в том что, при подаче на обмотку двигателя сигнал напряжения поворот ротора осуществляется на определенную угол. Вместо этого, они вращаются шагами. Каждый шаг представляет собой часть полного оборота. Шаговые двигатели также различаются способами питания. В отличие от двигателей переменного или постоянного тока, обычно они управляются импульсами. Каждый импульс преобразуется в градус, на который происходит вращение. Например, 1.8° шаговый двигатель, поворачивает свой вал на 1.8° при каждом поступающем импульсе. Часто, из-за этой характеристики, шаговые двигатели еще называют цифровыми. Шаговый двигатель позволяет осуществлять позиционирование ротора с точностью до долей градуса, что абсолютно недостижимо других типов двигателей. Скорость вращения шагового двигателя определяется только частотой отслеживания импульсом управления [1].

Шаговые двигатели в отличие от других двигателей не только точны в позиционировании, но и практически вечны, и двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки. Это достоинство шаговых двигателей определило их сферу применения – устройства точного позиционирования. Другое достоинство шагового двигателя позволяет использовать его как датчик угла поворота. Их также можно использовать в качестве генератора мощности, например, в ветроэнергетических устройствах малой мощности. Они работают более эффективно чем, коллекторные генераторы. Недостаткам шагового двигателя является, возможна потеря контроля положения ввиду работы без обратной связи и потребление энергии не уменьшается даже без нагрузки, и имеет сложная схема управления [1].

Целью данной работы является создание 2D модели в программе Ansys Maxwell для шагового двигателя.

С помощью Ansys Maxwell можно ускорить процесс проектирования и оптимизации вращающихся электрических машин. Эта программа включает решатели для 3D/2D анализа магнитных переходных процессов, гармонических, магнитостатических, электростатических полей, задач проводимости постоянного тока, электрических переходных процессов, которые точно определяют величины поля, а также усилия, вращающий момент, емкость, индуктивность, сопротивление и импеданс. Программа автоматически генерирует нелинейные эквивалентные схемы замещения моделей из полевого решения, которые в

дальнейшем могут использоваться для анализа систем и цепей. Также предоставляется возможность выполнить всесторонний анализ модели с ее схемой включения и управления, механическими нагрузками и другими важными параметрами [2]. Исходя из этого, далее будем моделировать магнитную систему шагового двигателя.

Особенности применения программы Ansys Maxwell при моделировании магнитной системы шагового двигателя:

- сократить время.
- повысить точность расчета шагового двигателя.

На рисунке 1 представлена 2D модель шагового двигателя в программе Ansys Maxwell.

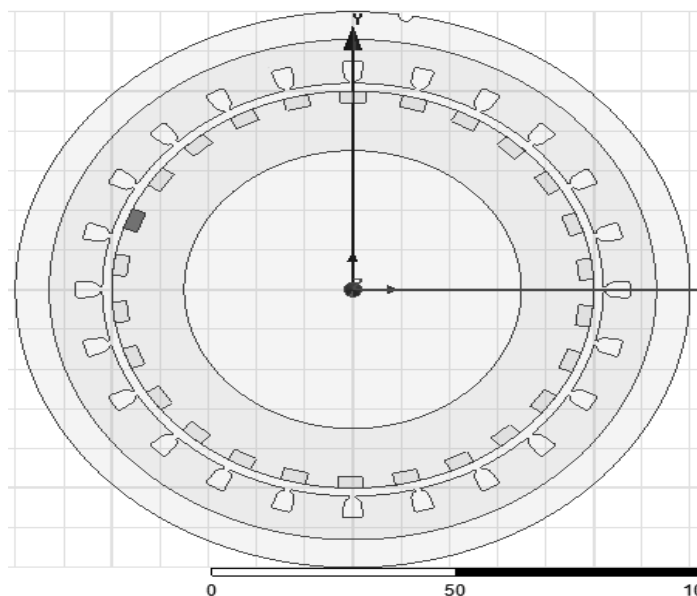


Рис. 1. 2D модель магнитной системы шагового двигателя.

В целом, применения Ansys Maxwell позволило сократить время при моделировании магнитной системы шагового двигателя в части автоматизированной обработки данных. В тех случаях, когда требуется перейти от аналитического к более точному решению для детального рассмотрения процессов, происходящих внутри машины, особенности Ansys Maxwell позволяет перейти от виртуальной модели к двумерной или трехмерной полевой в 2D/3D

При моделировании 2D модели магнитной системы шагового двигателя использовалась среда Ansys Maxwell, которая имеет особенности повысить точность расчета шагового двигателя. Созданная модель позволит иметь наглядное представление о протекающих в шагового двигателя процессах во время работы. Создание 2D модели довольно трудоемкий процесс, так как требует от специалиста знание принципов, по которым происходит построение модели.

Таким образом, благодаря особенностям применения Ansys Maxwell моделирование шагового двигателя перешло на качественно новый уровень.

Это позволило ускорить процесс оптимизации шагового двигателя. Создаваемая 2D модель магнитной системы значительно повышает точность расчетов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики: Учеб.для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика". - 2-е изд.- М.:Высш.шк., 1986.
2. ANSOFTMaxwell / ANSYSMaxwell [Электронныйресурс]. – URL: <http://ansoft-maxwell.narod.ru/>
3. Векторное 2D/3D-моделирование гистерезиса [Электронный ресурс]. – URL: http://cae-expert.ru/sites/default/files/delcam_ural0315.pdf
4. AnalogDevices [Электронный ресурс].– URL: http://www.kite.ru/preview/pre_71_10_13_stm_inaction.php
5. САПР графика [Электронный ресурс]. – URL:<http://sapr.ru/article/22881>

Научный руководитель: О.О. Столярова, к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОДНАЯ ОТОПИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Е.А. Якушина

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5А65

Однажды мне папа рассказал о простой модели кипятильника: два тонких лезвия, между ними две спички, чтобы они не касались друг друга, и всё перетянута ниткой(рис.1). К лезвиям подсоединяются провода от источника тока. Техника безопасности нарушается, но чай закипает очень быстро! Почему вода нагревается, если бритвочки не замкнуты? Ведь мы привыкли, что нагрев происходит за счёт электрического сопротивления в спирали в ТЭНовом нагревателе. Так как бритвочки не замкнуты, то нагрев происходит без спирали и сопротивления металла, а значит без потерь энергии, т. е. вся энергия идёт на нагревание теплоносителя (воды). Нельзя ли где-то это использовать?

Оказывается, эта система уже успешно применяется для обогрева жилых помещений в виде электродного водонагревателя. Ещё в Советском Союзе схожие по принципу действия отопительные приборы использовались на атомных подводных лодках и кораблях Военно-морского флота. В конце 1980-х годов конструкция электродного котла была адаптирована к использованию в системах отопления жилых, производственных, складских и торговых помещений

Цель работы: исследование свойств теплоносителя для Энергосберегающей отопительной установки (далее ЭОУ) и создание её действующей модели

Задачи:

- Выяснить эффективность данной установки.

- Определить необходимую и достаточную концентрацию теплоносителя для эффективной работы.
- Создать модель для исследования свойств теплоносителя.

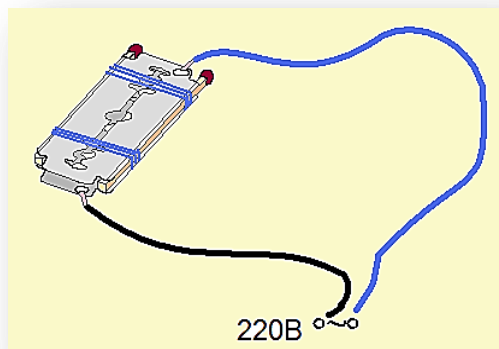


Рис.3. Схема нагревательного устройства на двух бритвах

Процесс нагрева в водонагревателе электродного типа происходит посредством протекания электрического тока через теплоноситель, за счет сопротивления которого и происходит нагрев. При этом явление электролиза не наблюдается, так как катод и анод постоянно меняются местами с частотой тока 50 Гц. Значит, нагревание происходит из-за колебательных движений заряженных частиц, и на выходе в считанные секунды теплоноситель нагревается до 95°C! Переменный ток не даёт оседать частицам на одном электроде, поэтому они всё время совершают колебательные движения, и при их взаимодействии происходит нагревание теплоносителя, при этом сам электрод, изготовленный из специального сплава, не нагревается и не окисляется. Поэтому гарантия данного устройства более 10 лет, о чем можно прочесть в техническом паспорте устройства. Вторым электродом служит сам цилиндрический корпус водонагревателя, поэтому при использовании его в бытовых условиях необходимо индивидуальное заземление. Таким образом, данная установка способна качественно отапливать помещение на протяжении длительного промежутка времени практически без ремонта и замены оборудования.

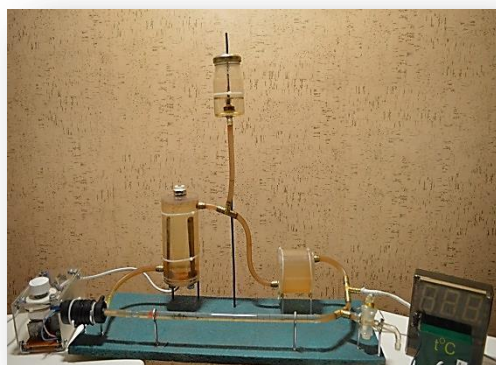


Рис. 4. Модель отопительной системы

Для исследования работы ЭОУ мы изготовили действующую модель данной установки в упрощённом виде с двумя изолированными электрода-

ми(рис.2). Котёл, расширительный бак, теплообменники (батарея), кран для слива жидкости из системы выполнены из непроводящего электрический ток оргстекла. Трансформатор, преобразует ток напряжением 220В в 12В. Электронасос необходим для постоянной и интенсивной циркуляции теплоносителя по системе отопления. Регулятор напряжения служит для регулирования силы тока на электродах. Модель готова к работе! Но, залив в систему модели обычную водопроводную воду, мы увидели, что вода закипает очень быстро, что нежелательно для отопительной системы. Можно сделать вывод, что сила тока слишком велика, а это указывает на не эффективный расход электроэнергии и излишнее испарение теплоносителя. Допускать кипение в системы нельзя.

В инструкции к электроустановке рекомендуемая сила тока - 25 Ампер. Что бы достичь этого значения, была изучена электропроводность разных образцов воды (таблица 1):

- Малиновое озеро (с. Михайловское Алтайского края, рис.3);
- озеро Солёное (с. Новогорьевское Алтайского края);
- из скважины (г.Ленинск-Кузнецкий, Кемеровская область (глубина 14 м);
- дождевая вода;
- из колодца (г.Ленинск-Кузнецкий, Кемеровская область (глубина 6 м);
- водопроводная (из крана);
- вода питьевая (из кулера);
- дистиллированная вода (куплена в автомагазине).

Табл. 1. Электропроводность воды из различных источников

оз. Малиновое	оз. Солёное	из скважины	из колодца	из крана	дождевая вода	питьевая из кулера	дистиллированная
9,995 мСм/см	6.325 мСм/см	2,060 мСм/см	1,080 мСм/см	0,750 мСм/см	0,190 мСм/см	0,186 мСм/см	0,112 мСм/см

Для исследования электропроводности было проведено исследование электропроводимости жидкостей. В результате опытов у нас получилось, что самая высокая электропроводность у образца воды из Малинового озера, и почти не проводит электрический ток дистиллированная вода.

Но почему вода из солёного озера проводит ток лучше? В нашем случае важнейшими показателями качества теплоносителя являются солесодержание и её удельное электрическое сопротивление. Режим работы электродных аппаратов в основном зависит от **удельного электрического сопротивления воды**, которое в любой момент времени определяет ток и мощность аппарата.

В инструкции написано, что удельное сопротивление должно быть примерно 1000 Ом·см, не более. Выразив единицы измерения удельного сопротивления в единицы электропроводности, мы пришли к выводу, что ни один из исследуемых образцов не подходит для использования. Удельное сопротивление либо выше, либо ниже положенного. Поэтому нам придётся использовать смесь двух различных образцов, наиболее подходящей концентрации. В качестве теплоносителя в отопительной системе с электродным котлом вполне сгодятся дождевая вода, питьевая водопроводная вода.

При помощи несложных математических расчётов приходим к выводу, что удельное сопротивление образца воды из скважины в два раза меньше, чем требуется в инструкции (1000 Ом·см). Смешиваем воду из скважины с дождевой в пропорции 50×50 и производим контрольный замер электропроводности. Получилось почти 1000 Ом·см. Данный теплоноситель был залит в нашу модель. После включения в водонагреватель, система работает нормально.

Также было замечено, что при повышении температуры сила тока повышается, а значит, сопротивление уменьшается. Это можно доказать при помощи физического эксперимента. По мере нагревания теплоносителя при помощи электрической плитки сила тока увеличивалась, что указывает на уменьшение сопротивления. Удельное сопротивление уменьшается за счёт увеличения скорости движения заряженных частиц. Поэтому сам теплоноситель необходимо создавать с небольшим запасом для небольшого роста силы тока. В электрических электродных котлах мощность находится в прямой зависимости от температуры теплоносителя, потому что при изменении параметра температуры меняется и удельное эл. сопротивление теплоносителя.

В ТЭНовом котле номинальная мощность расходуется сразу, при чём при включении происходит всплеск мощности. Электродный же котел нагревается постепенно, превращая электроэнергию в тепло. Затрачиваемая мощность зависит от качества теплоносителя и температуры, установленной пользователем при помощи термореле (рис.3). Подогрев теплоносителя начинается сразу с подачей электричества и в стояке за 1 минуту температура достигает 95°C. ТЭНовые котлы доводят температуру в стояке от 50 до 70°C только за 10 - 15 минут с максимальным постоянным потреблением тока, которое на 50% превышает стартовую мощность электродного котла.

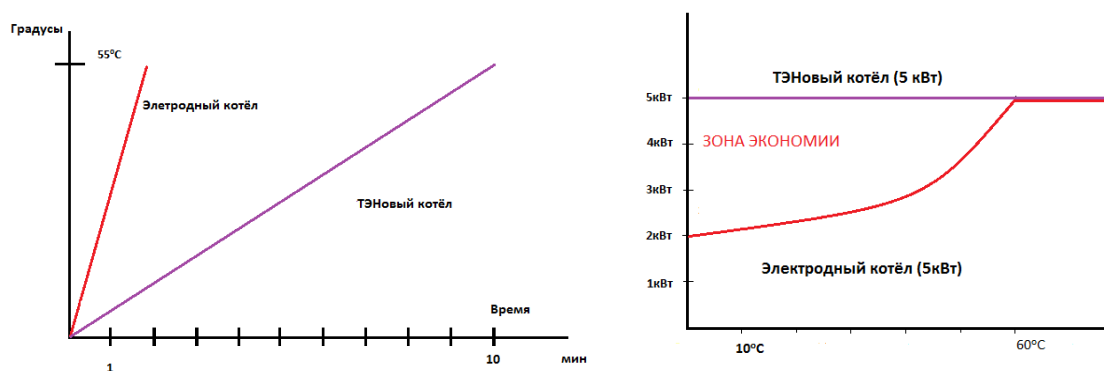


Рис. 3. Сравнение ТЭНовых и электродных котлов

Некоторые дома отапливаются обычными ТЭНовыми водонагревателями. Ниже приводится таблица сравнения потребления электроэнергии таких устройств с ЭОУ

Здесь тоже очевидна экономия электрической энергии в два раза, да и долговечность работы электрических ТЭНов намного уступает электродным устройствам – официальная гарантия на ЭОУ 10 лет, а срок службы по техническому паспорту 30 лет! Электродные котлы в сравнении с ТЭНовыми имеют следующие преимущества:

- намного дешевле (средняя цена на ЭОУ 3000-4 000 рублей);

- более долговечны;
- меньшие габаритные размеры;
- ниже эксплуатационные расходы;
- более высокий коэффициент полезного действия (достигает 98%);

Таким образом, мы можем выделить следующие особенности электродных котлов:

- За счет простоты конструкции и принципа нагрева тепловые потери в котле сведены к минимуму, КПД электродных котлов близки к 100 (96-98%)
- Если из системы отопления по какой-либо причине вытекает теплоноситель, то электродный котел просто перестает работать из-за размыкания цепи, тем самым предотвращая аварийную ситуацию.
- Энергопотребление электродных котлов напрямую зависит от температуры теплоносителя - чем ниже температура воды в системе, тем ниже энергопотребление.
- Рабочая температура электродного котла не должна превышать 75 градусов - при увеличении температуры увеличивается мощность котла, и, как следствие, нагрузка на электросеть.
- Электродные котлы менее инертны, что позволяет быстрее разгонять систему до заданной температуры и эффективнее применять управляющую автоматику.
- Электродные котлы не чувствительны к перепадам напряжения. С изменением напряжения изменяется лишь мощность котла, а в целом он продолжает работать.
- Малые габариты и низкая стоимость.
- Электродные котлы требовательны к качеству теплоносителя.
- При установке электродного котла необходимо наличие хорошего заземления - из-за значительных токов утечки подключение котла после устройства защитного отключения невозможно.

Научный руководитель: Ю.П. Шаркеев, д.ф.-м.н., профессор ФТИ ПУ.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

А.В. Зданович
Сибирский федеральный университет

В настоящее время в сфере автономной ветроэнергетики растет интерес к высокоэффективным ветродизельным комплексам (ВДК), позволяющим значительно снизить затраты на дорогостоящее и труднодоступное в отдаленных районах дизельное топливо.

Вовлечение таких комплексов в энергобаланс позволит повысить уровень жизни местного населения, снизить зависимость от поставок топлива и снаб-

жать населенный пункт электроэнергией со значительно меньшими перерывами.

Ветер – возобновляемый источник энергии (ВИЭ), имеющий свои особенности, такие как: неуправляемость, сезонная изменчивость как по направлению, так и по скорости. Возникает необходимость оценки основных показателей надежности ВДК, которую можно провести, используя наиболее подходящие для этого методы (аналитический, метод марковских процессов, метод дерева отказов, таблично-логический и др.), описанные в источниках [1], [2], [3].

В качестве основного метода анализ надежности выбран метод дерева отказов (ДО) с формированием логической функции отказа (ЛФО) и разделением отказов на длительные, кратковременные и отказы из-за погодных условий. Данный метод является дедуктивным и применим в тех случаях, когда число различных отказов системы невелико [4].

Длительные отказы связаны с отключениями оборудования на время его замены или аварийного ремонта, а также с отказами элементов, которые не могут быть отсоединены от распределительного устройства (РУ) разъединителями.

Кратковременные отказы характеризуются отказами в срабатывании коммутационных аппаратов (КА), отходящих линий электропередач и элементов, которые могут быть отсоединены от РУ путем оперативных переключений [4].

Формирование ЛФО происходит после построения ДО системы путем выполнения указанных в блок-схеме операций логического умножения («И») и логического сложения («ИЛИ») над символами первичных событий, начиная с нижнего уровня [4].

В результате ЛФО для конечного события будет представлена логической суммой (дизъюнкцией) конъюнкций первого порядка (элементарные события), конъюнкций второго и третьего порядков, что может быть описано формулой:

$$ЛФО = \bigcup_i y_i \bigcup_k (y_i \cap x_{ок k}) (\bigcup_{ij} y_i \cap y_j) \bigcup_{ij} (y_j \cap y_i) \bigcup_{ijk} (y_i \cap y_j \cap x_{ок k}), \quad (1.1)$$

где y_i , y_j , y_k – элементарные события (отказы элементов i, j, k); $x_{ок k}$ – события отказов срабатывания КА, устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) для элемента k ; y_i , y_j – ремонтное состояние элементов i и j (обозначается знаком «тильда»).

Полученная ЛФО подвергается упрощению по правилам алгебры логики [5]. Перейдя от логической записи ЛФО к алгебраической, можно непосредственно приступать к расчету показателей надежности. Вероятность простоя элемента, о. е., определяется по формуле [4]:

$$q(y) = \lambda(y) \cdot \tau(y), \quad (1.2)$$

где $\lambda(y)$ — интенсивность (частота) отказа элемента y , 1/год; $\tau(y)$ — среднее время его восстановления, лет.

Выражение для оценки частоты отказа ВДК:

$$\Lambda_{ВДК} = \sum_i \lambda(y_i) + \sum_k \lambda(y_k) Q(x_{oc\ k}) + \sum_{ij} \lambda(y_i) q(y_j) + \sum_{ji} \lambda(y_j) q(y_i) + \sum_{ijk} \lambda(y_i) q(y_j) Q(x_{oc\ k}), \quad (1.3)$$

где i, j, k —элементы системы; $\lambda(y_i)$ — интенсивность отказов элементов; $Q(x_{oc\ k})$ — условная вероятность отказа срабатывания КА и РЗиА.

Выражение для расчета вероятности состояния отказа (относительной длительности):

$$q_{ВДК} = \sum_i \lambda(y_i) \tau(y_i) + \sum_k \lambda(y_k) Q(x_{oc\ k}) \tau(y_k \cap x_{oc\ k}) + \sum_{ij} \lambda(y_i) q(y_j) \tau(y_i \cap y_j) + \sum_{ji} \lambda(y_j) q(y_i) \tau(y_j \cap y_i) + \sum_{ijk} \lambda(y_i) q(y_j) Q(x_{oc\ k}) \tau(y_i), \quad (1.4)$$

где $\tau(y_k \cap x_{oc\ k})$ — среднее время восстановления при отказе в отключении повреждения на присоединении; $\tau(y_i \cap y_j)$ — среднее время восстановления при совпадении отказа одного элемента системы с ремонтом другого.

В качестве примера оценки надежности рассмотрим принципиальную схему ВДК, установленного на Севере Красноярского края (Рис.1). В состав ВДК входят: 2 ветроэнергетические установки (ВЭУ) мощностью 150 кВт каждая, 2 ДГ мощностью по 300 кВт, аккумуляторная батарея (АБ) и инвертор. ДО для схемы ВДК приведено на Рис. 2.

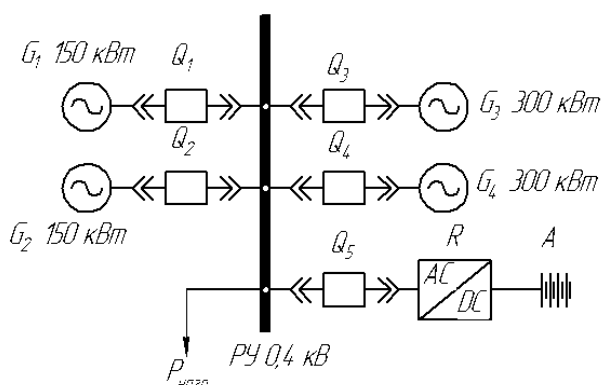


Рис.1. Принципиальная схема ВДК: G_1, G_2 — ВЭУ; G_3, G_4 — дизель-генераторы; Q_1 – Q_5 — выключатели; R — инвертор; A — аккумуляторная батарея; $P_{нагр}$ — нагрузка

Логические функции отказов для конечного события после сокращений примут вид:

$$ЛФО(ВДК)_{ДО} = [G_w G_w + Q G_w] \cdot [(A + R + Q) \cdot (G_d G_d + G_d Q)], \quad (1.5)$$

$$ЛФО(ВДК)_{КО} = R Q_{oc} + Q + G_d Q_{oc} + G_w Q_{oc}, \quad (1.6)$$

$$ЛФО(ВДК)_{погодн.} = (G_d Q + G_d G_d) Q_{oc} q_V^*, \quad (1.7)$$

где G_w, G_d, A, R, Q – коды ВЭУ, ДГ, АБ, инвертора и выключателя на схеме; Q_{oc} – условная вероятность отказа в срабатывании КА; q_v^* – вероятность простоя ВЭУ из-за погодных условий, о. е., определяемая по формуле:

$$q_v^* = q_v q, \tag{1.8}$$

где q_v – коэффициент простоя ВЭУ по причине погодных условий, о.е.; q – условная вероятность появления нерасчетной скорости ветра. Справочные данные (Табл. 1 и Табл. 2) взяты в [2] и [4]. Результаты расчетов помещены в Табл.3.

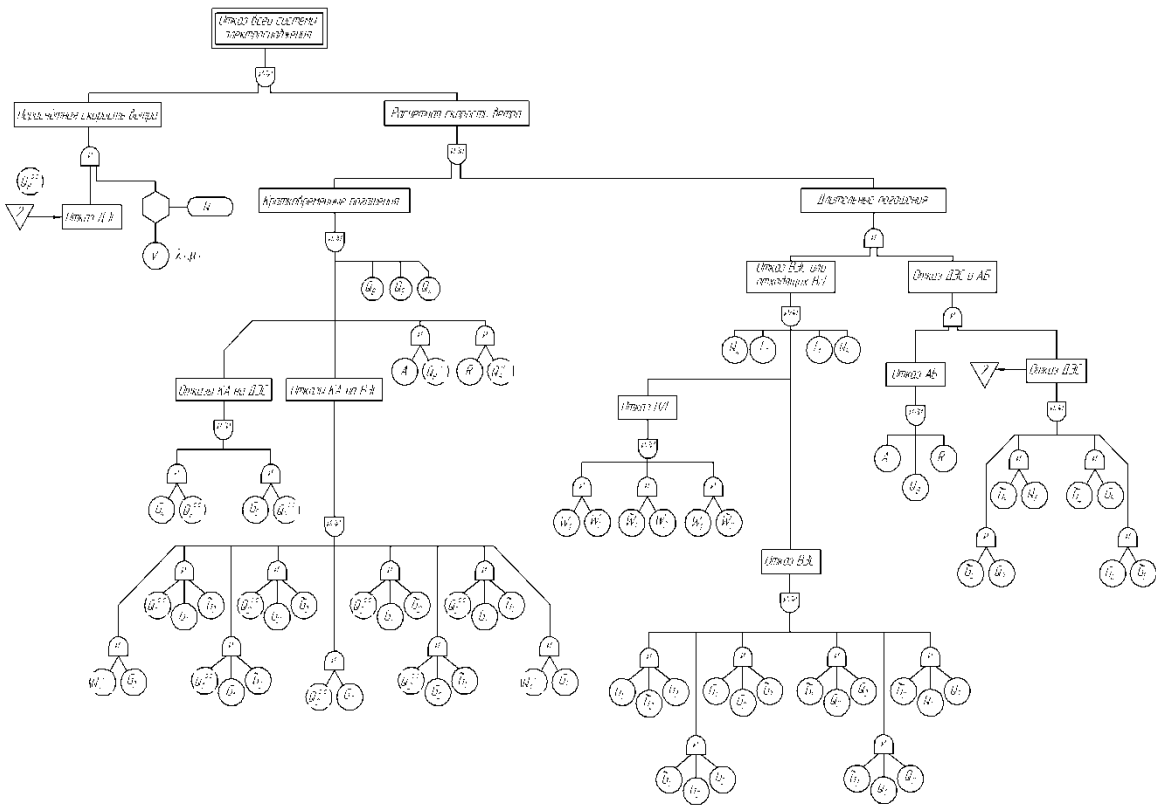


Рис. 2. Дерево отказов ВДК

Табл. 1. Справочные данные для учета влияния погодных условий на Севере Красноярского края

Параметр	q	T_0	T_N	λ_v , 1/год	μ_v , 1/год	q_v	q_v^*
Значение	0,05	0,42	0,58	2,38	1,72	0,57	0,0285

Табл. 2. Показатели надежности элементов ВДК

Код эле- мента	Элементы ВДК	Значения показателей надежности		
		$\lambda(y)$	$\tau(y)$	$q(y)$
G_w	ВЭУ Nordwind-150	1,1	$3,28 \cdot 10^{-3}$	$3,61 \cdot 10^{-3}$
G_d	Дизель-генератор	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$
R	Инвертор	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-2}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
A	Аккумуляторная батарея	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Q	Выключатель	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7}$

Табл. 3. Результаты расчетов показателей надежности ВДК

Параметр	Длительные погашения	Кратковременные погашения	Отказы из-за погодных условий	Сумма
Частота отказов $\Lambda(ВДК)$, 1/год	$8,85 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$
Вероятности отказа $q(ВДК)$, о.е.	$6,36 \cdot 10^{-18}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-12}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$

На основании расчетов установлено, что частота и вероятность отказа ВДК крайне мала, следовательно, будет выполняться частичное замещение дорогостоящего дизтоплива возобновляемым источником энергии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Григорьева О.А. Анализ надежности автономного ветродизельного комплекса // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – №243. – С. 45-52.
2. Гук Ю.Б. и др. Расчет надежности схем электроснабжения / Гук, Ю.Б., Синенко М.М., Тремясов В.А. – Л.: Энергоатомиздат, – 1990. – 208 с.
3. Бобров А.В., Тремясов В.А. Ветродизельные комплексы в децентрализованном электроснабжении: монография. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 216 с.
4. Borges C.L. T. An overview of reliability models and methods for distribution systems with renewable energy distributed generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – №16, p. 4008-4015.
5. Fault Tree Handbook // Vesely W.E, Goldberg F.F., Roberts N.H., Haasl D.F.–Washington.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981. –209 p.

Научный руководитель: В.А. Тремясов, к. т. н., проф. кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» Сибирского федерального университета.

РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.И. Савельев, К.Д. Крестовников, С.В. Солёный

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Технологии беспроводной передачи энергии на основе магнитного резонанса выглядят весьма перспективными ввиду стремительного развития электрического транспорта и автономных робототехнических систем [1-3]. В частности, вмонтированные в дорожные покрытия «заряжающие полосы», позво-

ляют реализовать как стационарные, так и динамические сценарии зарядки, что значительно расширит возможности применения электромобилей и автономных роботов в быту, а также в случае чрезвычайных ситуаций [4].

Технологии беспроводной зарядки можно грубо разделить на две категории: неизлучающие зарядные устройства на основе связанных контуров (non-radiative coupling-based charging) и излучающие радиочастотные зарядные устройства (radiative RF-based charging). В первую категорию входят технологии на основе индуктивной, магнитно-резонансной и емкостной связи. Вторая категория включает технологии на основе формирования направленных и ненаправленных лучей радиоизлучения. В емкостной связи достижимая величина передаваемого заряда зависит от доступной площади устройства, что накладывает ограничения на проектирование зарядки для мобильных устройств. Применение технологии формирования направленных лучей радиоизлучения также ограничено, поскольку зарядное устройство должно знать точное местоположение приемника энергии. По этой причине беспроводные зарядные устройства, как правило, реализуются на основе магнитной индуктивной связи, магнитно-резонансной связи или ненаправленного радиочастотного излучения.

Основная проблема существующих серийно выпускаемых решений систем беспроводной передачи энергии состоит в малой передаваемой мощности. Емкость аккумуляторов автономных роботов значительно превосходит емкость источников питания смартфонов и других маломощных устройств, обширный рынок которых диктует требования разработчикам и производителям. Для зарядки робототехнических систем требуются мощности в десятки раз превосходящие те, что могут предложить зарядные устройства существующих стандартов. В данной работе для создания такой системы была разработана методика расчета, основанная на анализе различных собранных авторами прототипов беспроводной зарядки и существующих подходах к проектированию данных систем.

В ходе прототипирования силовая часть зарядного устройства была реализована в трех вариантах. Первый вариант был представлен в виде однотактного прямоходового преобразователя с внешним задающим генератором. Следующий вариант был основан на резонансном автогенераторе с передающими контурными катушками различной формы. В последнем варианте был использован резонансный автогенератор с передающими контурными катушками и ферромагнитным сердечником. Как показал анализ данных, наилучшими параметрами (КПД, уровень передаваемой мощности, расстояние до приемной части зарядного устройства, электромагнитная совместимость, надежность и соотношение цена/качество) обладают прототипы на основе резонансных автогенераторов с плоскими контурными катушками и контурными катушками с ферромагнитным сердечником. Данные прототипы были взяты за основу реализации проекта беспроводного зарядного устройства для робототехнической платформы. Схема разработанного устройства беспроводной передачи энергии представлена на рисунке 1.

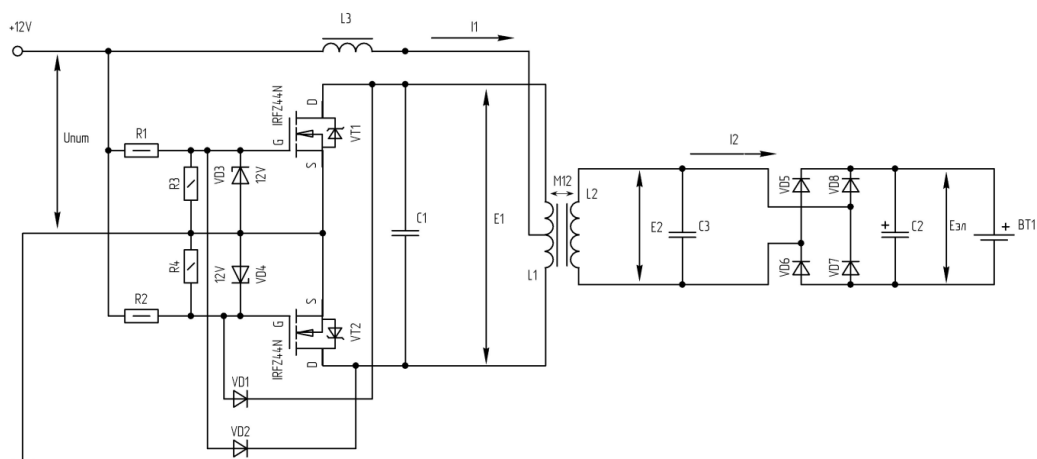


Рис. 1. Принципиальная схема устройства беспроводной передачи энергии

Для расчета данной принципиальной схемы была разработана следующая методика. Зададимся параметрами магнитопроводов, на которые будут намотаны контурные катушки генератора и приемника, а также установим частоту работы автогенератора. Затем рассчитаем параметры передающей катушки: амплитуду напряжения и минимальное количество витков.

После расчета передающей катушки определяются следующие параметры приемной катушки: амплитуды напряжения, приближенное значение дифференциального сопротивления выпрямительных диодов, приближенное значение сопротивления обмоток передающей и приемной катушек, индуцированная ЭДС холостого хода, количество витков. Условно допускается, что передающая катушка намотана на цилиндрическом сердечнике так, что она не имеет смещения относительно середины приведенного к стержневой форме сердечника магнитопровода, а диаметр сердечника соответствует диаметру катушки. Исходя из данных параметров рассчитываются: эффективная проводимость сердечника, индуктивность передающей и приемной катушек, эквивалентная магнитная проницаемость магнитной системы, взаимоиנדукция между приемной и передающей катушками, уточненный коэффициент связи катушек.

Для определения уточненной эквивалентной добротности приемного контура необходимо рассчитать активное сопротивление обмотки приемной катушки и исходную добротность контура без учета влияния нагрузки. Расчет выпрямителя с емкостным фильтром выполняется с заданным коэффициентом пульсаций на выходной емкости фильтра и зависит от значений индуктивности рассеяния обмоток, тангенса угла, определяющего соотношение между индуктивным и активным сопротивлениями фазы выпрямителя, основного расчетного и вспомогательных коэффициентов выпрямителя, емкости фильтра.

Далее необходимо произвести уточняющий расчет требуемой ЭДС, индуцируемой в приемном контуре, и требуемое количество витков принимающей катушки. Расчет параметров выпрямительных диодов зависит от импульсного прямого тока, импульсного обратного напряжения, среднего значения прямого тока на выпрямительном диоде. Для определения сечения проводников приемной и передающей катушек используются расчеты: действующих значений активной составляющей тока в приемной и передающей катушках, реак-

тивной составляющей тока передающей и приемной катушек. Расчет емкости конденсаторов резонансных контуров включает расчет емкости конденсаторов передающего и приемного контуров.

Максимально допустимое напряжение сток-исток, предельно допустимый ток стока транзистора и максимальная рассеиваемая мощность транзистора позволяют определить параметры и выбрать транзистор. Последним производится выбор балластного дросселя на основе параметров индуктивности и максимально допустимого тока обмотки.

На основании выше приведенной методики был рассчитан и изготовлен опытный образец беспроводного зарядного устройства для мобильной робототехнической платформы. Образец должен был отвечать следующим требованиям: расстояние передачи энергии не менее 2 мм, КПД устройства не менее 50%, выходная мощность зарядного устройства не менее 50 Вт, выходное напряжение не менее 25,2 В, напряжение питания передающей части зарядного устройства (ЗУ) 12 В, геометрические размеры приемной части ЗУ не более 60х65х70 мм, масса приемной части ЗУ – не более 0,5 кг. Для проверки разработанного устройства были сняты зависимости передаваемой мощности и КПД от тока нагрузки при расстоянии 2 мм между плоскостями торцов сердечников катушек устройства. Был проведен ряд испытаний с различными значениями напряжения, тока и мощности питания, усредненные значения которых равны 12,23 В, 7,5 А и 91,74 Вт соответственно. Усредненные выходные значения по нагрузке были следующими: напряжение 51,2 В, ток 1,5 А, сопротивление 52,7 Ом, мощность 64,8 Вт. Из представленных усредненных данных видно, что разработанная система удовлетворяет заранее заданным условиям технического задания. КПД и мощность беспроводного устройства передачи энергии в большинстве случаев превосходят заложенные изначально характеристики, что положительно влияет на скорость заряда аккумуляторов мобильной робототехнической платформы.

Подобное устройство беспроводной передачи энергии может быть использовано для зарядки различных мобильных систем и комплексов. Такими системами могут быть: беспилотные летательные и наземные аппараты, задачами которых является сопровождение и отслеживание пользователей в киберфизическом пространстве [5], антропоморфные робототехнические системы [6], модульные и роевые робототехнические средства [7, 8]. Такие зарядные устройства имеют преимущество над сетевыми аналогами, поскольку не требуют механических соединений, а приемник и передатчик могут взаимодействовать без участия человека или вспомогательных устройств.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Li S., Mi C.C. Wireless power transfer for electric vehicle applications // IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics. – 2015. – vol. 3(1). – pp. 4-17.

2. Ning P. et al. A compact wireless charging system for electric vehicles //Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2013 IEEE. – IEEE, 2013. – С. 3629-3634.
3. Ронжин А.Л., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – №. 1 (162).
4. Мотиенко А.И., Тарасов А.Г., Дорожко И.В., Басов О.О. Проактивное управление робототехническими системами спасения пострадавших // Труды СПИИРАН. 2016. № 3(46). С. 169-189.
5. Левоневский Д.К., Ватаманюк И.В., Савельев А.И. Многомодальная информационно-навигационная облачная система МИНОС для корпоративного киберфизического интеллектуального пространства // Программная инженерия. – 2017. – Т. 8. – № 3. – С. 120-128.
6. Павлюк Н.А., Бизин М.М. Конструктивные решения для антропоморфного робота АНТАРЕС // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2016. – № 9 (91). – С. 138-141.
7. Шляхов Н.Е., Ватаманюк И.В., Ронжин А.Л. Обзор методов и алгоритмов агрегации роя роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18. – № 1. – С. 22-29.
8. Ронжин А.Л., Ватаманюк И.В., Станкевич Л.А., Шляхов Н.Е. О способах контактного соединения группы модульных роботов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2016. – № 3(12). – С. 34-41.

МИКРОКОРОННЫЕ РАЗРЯДЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗОЛЯЦИЮ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Л.Ф. Зиялтинова, Е.М. Федосов, А.И. Раскулова

Уфимский государственный авиационный технический университет

В процессе эксплуатации высоковольтного оборудования очень часто выявляются различные технологические и конструкторские дефекты, таких как трещина, разъедание, неоднородность материалов изделия, наличия воздушных включений и т.д. Применение методов неразрушающего контроля так же способствует значительному уменьшению потерь по времени и сокращению материальных затрат при ремонте. Наиболее эффективным и новым методом выявления характерных для изоляции дефектов является метод измерения частичных разрядов, который определяет уровень микрокоронных разрядов в теле изоляции.

Частичный разряд – это искровой разряд небольшой мощности, который образуется внутри высоковольтной изоляции, или на ее поверхности. Наибольшую опасность для оборудования представляют не сами разряды, а результат их воздействия на изоляцию - периодически повторяющиеся частичные разряды разрушают высоковольтную изоляцию. Частичные разряды появляются в слабом месте оборудования под воздействием переменного напряжения и приводят к постепенному развитию дефекта и разрушению изоляции при дальней-

шей эксплуатации оборудования, эти дефекты развиваются и растут [1]. Увеличение размеров дефекта приводит к дуговому пробою всего изоляционного промежутка. ЧР возникают в области локальных дефектов, т. е. в местах, где изоляция ослаблена.

Метод отличается от ранее известных методов отсутствием разрушающего воздействия на изоляцию, так как подводимое к кабелю напряжение не превышает амплитуды номинального. Для оценки состояния изоляции и определения параметров ЧР, таких как повторения число ЧР можно воспользоваться схемой замещения изоляции, в которой происходят ЧР, показанной на рис. 1 [2].

Воздушные включения могут располагаться хаотично. Рассмотрим участок кабельной линии, где имеются газовые включения. Механизм образования и развитие ЧР рассмотрим при помощи схемы замещения изоляционного промежутка с включением (рис. 1).

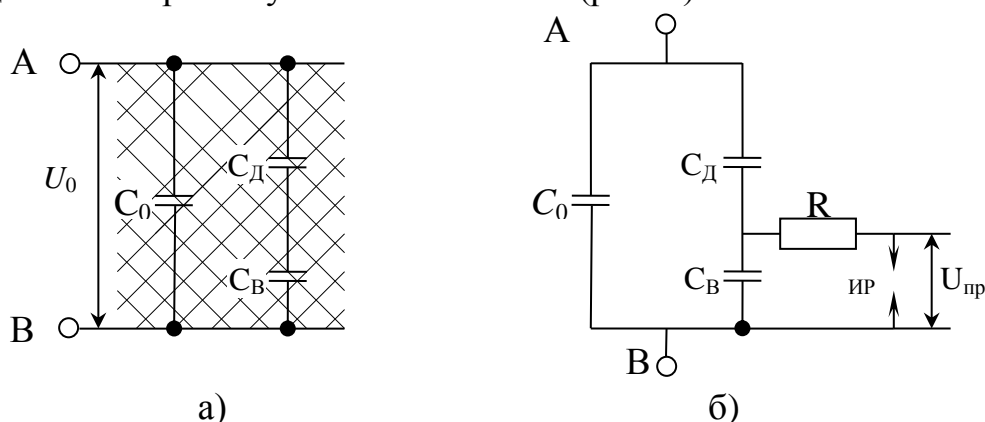


Рис. 1. Схема изоляции с воздушным включением (а) и схема замещения при ЧР (б). C_0 – емкость участка диэлектрика без включения $C_в$ – емкость включения, $C_д$ – емкость неповрежденного участка диэлектрика, включенного последовательно с газовым включением, ИР – разрядник, имитирующий пробой газового промежутка, R – сопротивление канала разряда, в котором рассеивается энергия разряда.

Напряжение воздействующее на включения будет иметь вид:

$$U_B = C_X \cdot U, \quad (1)$$

где U – приложенное переменное напряжение,

C_X – эквивалентная емкость изоляционного промежутка.

После достижения на включении определенного напряжения U_B произойдет разряд, и процесс ЧР будет повторяться, пока напряжение на включении не станет меньше U_B . Затем напряжение будет изменяться согласно напряжению, которое подается на включение [2]. Таким образом, процесс ЧР стабилизируется, и тогда получим следующую диаграмму (рис. 2).

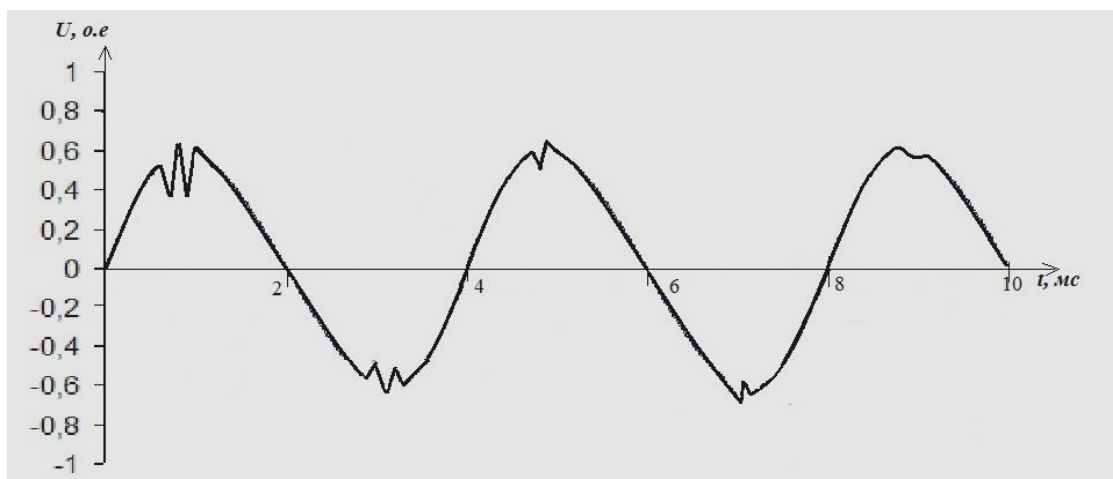


Рис. 2. Диаграмма стабилизирующего напряжения на включении

В таблице 1 приведены нормированные параметры ЧР для определения технического состояния кабельной линии с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 6-10 кВ, полученные в течение 10 лет ООО «Тест» (г.Пермь) [3]. Напряжение возникновения оказывает наиболее разрушающее действие при частых и наименьших значениях.

Табл. 1.

№	Диагностический параметр	Заключение о возможности эксплуатации			
		в течение 5 лет	в течение 1 года	Ремонт в течение 1 года	не подлежит
1	Уровень ЧР (Q), пКл	1 200	1200-5000	5000-10500	>10 500
2	Число ЧР (N), с ⁻¹	0,066	0,066-0,23	0,23-0,7	>0,7
3	Напряжение возникновения ЧР, кВ	14	8 – 14	5-8	< 5

Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования могут осуществляться на основании результатов технического диагностирования. Метод диагностики по частичным разрядам позволяет на ранней стадии определить процесс развития пробоя изоляции высоковольтного оборудования, что исключает аварийные ситуации на предприятиях и дает возможность в плановом порядке производить его ремонт [4].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ф.Р. Кувандыков, Е.М. Федосов, Ф.Р. Исмагилов. Методы селекции сигналов частичных разрядов в силовых кабельных линиях. Электротехнические комплексы и системы. / Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Уфа, УГАТУ 2015. – с. 11-14
2. Федосов Е.М. Частичные разряды в элементах электротехнических комплексов: диссертация кандидата технических наук: 05.09.03. — Уфа, 2009. — 136 с.

3. Вдовико В.П., Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования., Новосибирск: Наука, 155 с., (2007).
4. E. Gockenbach and W. Hauschild. 'The selection of the frequency range for HV on-site testing of extruded insulation cable systems," IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 16. no. 6. pp. 11-16. 2000.

Научный руководитель: Е.М. Федосов, к.т.н., доцент УГАТУ.

СЕКЦИЯ 7.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
КУБИЧЕСКОГО КАРБИДА ВОЛЬФРАМА WC_{1-x} И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЕГО КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

П.А. Малофеева¹, Ю.Л. Шаненкова², И.И. Шаненков²
Томский политехнический университет^{1,2}
ЭНИН, ЭПП, группа 5А63¹

В данной работе показана возможность получения редкой кубической модификации карбида вольфрама WC_{1-x} с помощью уникальной системы на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). Синтезированный материал был исследован методами XRD и ТЕМ, а также изучена его каталитическую активность в реакции получения водорода. Установлено, что модификация образца небольшим количеством платины приводит к значительному увеличению каталитической активности сравнимой с активностью промышленного платинового катализатора.

Полученный впервые в 1893 г карбид вольфрама существует в трех кристаллических модификациях: гексагональный WC, W_2C и кубический WC_{1-x} . [1]. Кубический WC_{1-x} (также известный как β -WC) считается метастабильным и обладает уникальными свойствами. До настоящего времени, он остается основным компонентом металлокерамических твердых сплавов и играет важную роль в промышленности из-за высоких показателей таких как: температура плавления, твердость по Виккерсу, модуль Юнга, вязкость разрушения, хорошей износостойкости и низкого коэффициента теплового расширения [2-3]. Благодаря этим свойствам вольфрамовые карбиды широко используются для создания режущего инструмента, износостойких материалов и т.д [4]. Кроме того, высокая поверхностная реакционная способность наночастиц карбида вольфрама позволяет использовать его в качестве катализатора для электрокаталитического получения водорода. Проблема состоит в том, что кубическая фаза WC_{1-x} существует только в узком диапазоне температурной стабильности, что затрудняет получение по сравнению с гексагональными WC и W_2C . Известен метод получения нанопорошков на основе установки коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), с помощью которого удалось получить и сохранить при нормальных температурах кубическую фазу карбида вольфрама [5]. В данной работе показана возможность получения кубической фазы карбида вольфрама WC_{1-x} , полученного прямым плазмодинамическим синтезом и особое внимание уделяется исследованию его каталитических свойств.

Получение нанодисперсного порошка карбида вольфрама реализуется в КМПУ (используемые параметры накопителя энергии: емкость 6,0 мФ и зарядное напряжение 3,0 кВ) с графитовыми электродами по методике, представленной в статье [5]. Исходный вольфрам и углерод (сажа) в виде порошков (сум-

марной массой 0,75 г, в соотношении W/C=2:1 масс) закладываются в зону формирования плазменной струи. Выстрел производится в герметичную камеру-реактор, заполненную технически чистым аргонem при нормальных давлении и температуре. Рабочие энергетические параметры в опыте были следующие: $U_m=1,31$ кВ, $I_m=118,86$ кА, $P_m=123,88$ МВА $W=17,47$ кДж. В результате эксперимента был получен нанопорошок карбида вольфрама массой 0,485г. Синтезированный материал исследовался методами рентгеновской дифрактометрии (XRD) (дифрактометр Shimadzu XRD7000, CuK_{α} -излучение) и просвечивающей электронной микроскопии (TEM) (электронный микроскоп Philips SM 12).

На рисунке 1 представлена рентгеновская дифрактограмма синтезированного материала, который состоит из нескольких фаз: вольфрама W, карбидов вольфрама W_2C и WC_{1-x} и графита gC. Фазовый анализ продукта проведен с помощью программы Powder-Cell и базы структурных данных PDF 4.

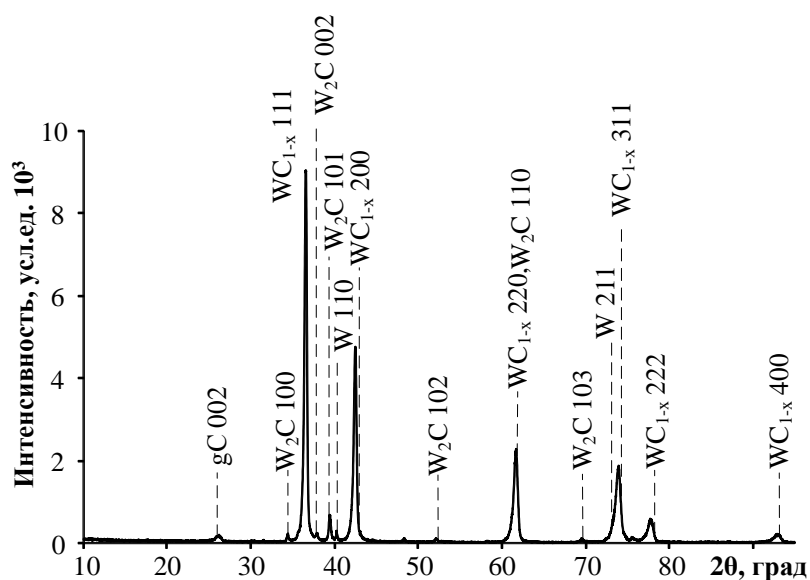


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма продукта синтеза

На рисунке 2 представлены результаты электронной просвечивающей микроскопии продукта синтеза. Анализ микроэлектронных снимков показал, что полученный продукт состоит из двух типов объектов (рисунок 2а, б). Первый – округлые частицы размером от 30 до 500 нм, темные, не пробивающиеся электронным пучком, как видимо, соответствующие фазам карбида вольфрама. Второй – менее плотные объекты с неразличимой морфологией представляющие собой графитовую матрицу. На картине дифракции электронов (рисунок 2в) можно идентифицировать 2 размытых кольца, как видимо, принадлежащие фазе ультрадисперсного графита, и отдельные максимумы, соответствующие межплоскостным расстояниям фаз карбида вольфрама. На рисунке 2г приведен HRTEM-снимок отдельной частицы карбида вольфрама размером около 30 нм. Объект имеет форму правильного многоугольника, который окружен оболочкой, предположительно, графитовой. Оболочка состоит из приблизительно 12-15 атомных слоев с межплоскостным расстоянием около 3,5 Å. Эта величина с

учетом возможных погрешностей определения межплоскостного расстояния по HRTEM-снимку может быть отнесена к $d_{002}=3,395 \text{ \AA}$ фазы графита.

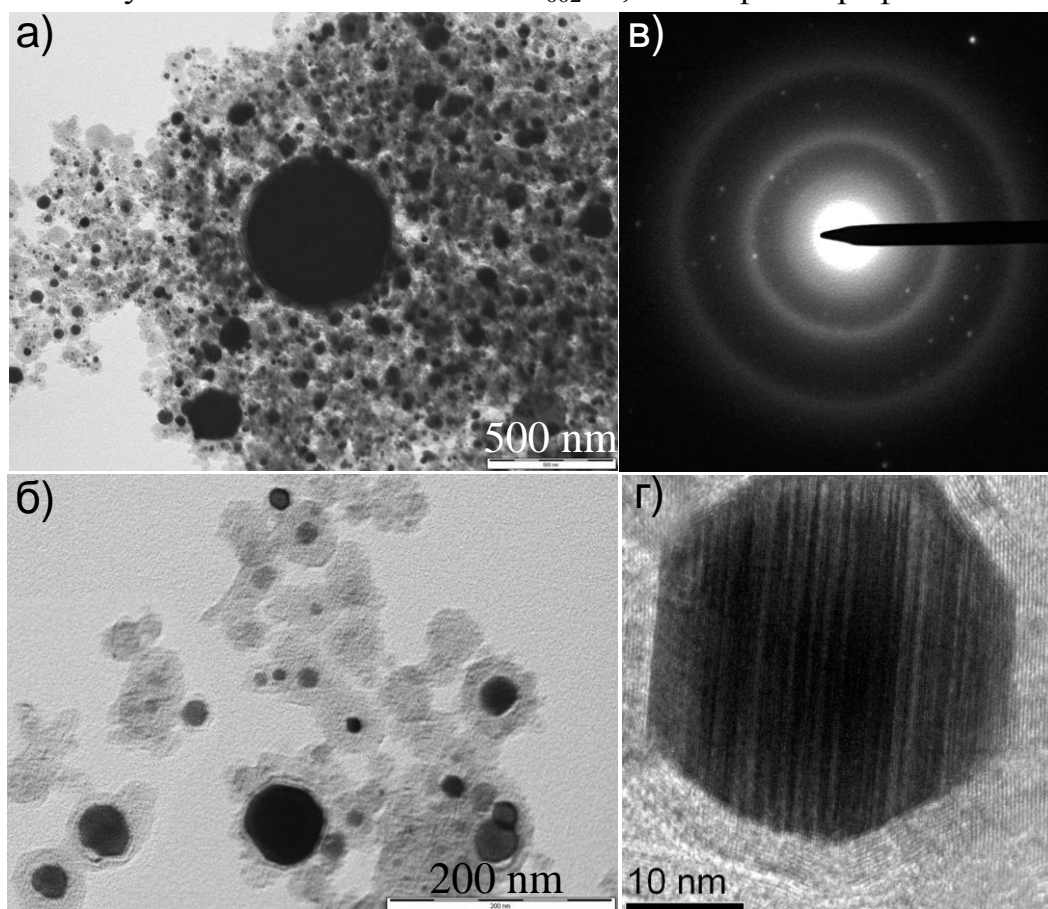


Рис. 2. Результаты просвечивающей электронной микроскопии синтезированного продукта плазмодинамического синтеза а, б, г – светлопольные снимки, в – электронная микродифракция

В дальнейшем электрокаталитические свойства синтезированного карбида вольфрама WC_{1-x} исследовались с помощью электрохимического анализатора Potentiostat CHI760e (CH Instruments). Для эксперимента было подготовлено 4 образца, представляющие собой синтезированный кубический карбид вольфрама WC_{1-x} , кубический карбид вольфрама, модифицированный 10 % (10Pt- WC_{1-x}) и 20 % платины (20Pt- WC_{1-x}), а также промышленный каталитический материал HiSPEC 3000, состоящий из наночастиц платины, расположенных на частицах сажи с массовой долей платины в 20% (Pt-C).

Согласно вольтамперным характеристикам, представленным на рисунке 3, кубический карбид вольфрама WC_{1-x} проявляет слабые каталитические свойства, однако модифицированный 10 % и 20 % платины он показывает почти такую же активность, что и промышленный платиновый катализатор.

Таким образом, результаты исследования показывают возможность синтеза ультрадисперсных фаз карбида вольфрама, графита и вольфрама в плазмодинамической системе гиперскоростной струи вольфрам-углеродной электро-разрядной плазмы. Также было доказано, что кубический карбид вольфрама может использоваться в роли катализатора для получения водорода из воды. Было обнаружено, что катализатор, состоящий из кубического карбида воль-

фрама, модифицированного 10 % платины, имеет практически такую же активность, что и промышленный каталитический материал.

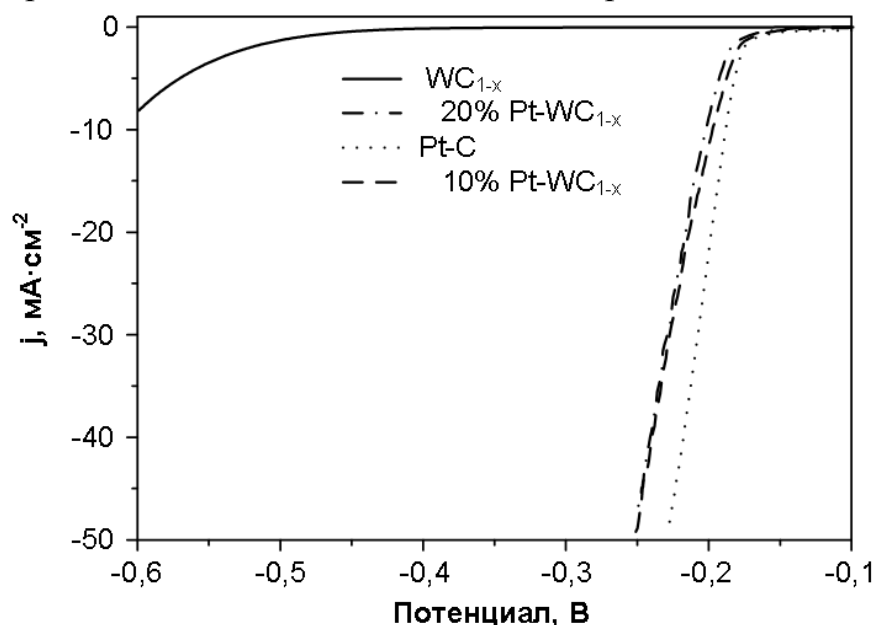


Рис. 3. Вольтамперные характеристики синтезированного карбида вольфрама WC_{1-x} , карбид вольфрама, модифицированного 10 % (10Pt- WC_{1-x}) и 20 % платины (20Pt- WC_{1-x})

ЛИТЕРАТУРА:

1. Yang Gao, Xiaoyan Song, Xuemei Liu, Chongbin Wei, Haibin Wang, Guangsheng Guo. On the formation of WC_{1-x} in nanocrystalline cemented carbides // Scripta Materialia. - 2013. - V.68. - P. 108-110.
2. M. Razavi, M.R. Rahimpour, R. Yazdani-Rad. A novel technique for production of nano-crystalline mono tungsten carbide single phase via mechanical alloying. Journal of Alloys and Compounds. 2011. № 509. P. 6683-6688.
3. He C., Meng H., Yao X., Shen P.K. Rapid formation of nanoscale tungsten carbide on graphitized carbon for electrocatalysis // Int. Journal of Hydrogen Energy. - 2012. - No. 37. - P. 8154-8160.
4. Kurlov A. S., Gusev A. I. Tungsten Carbides and W-C Phase Diagram // Inorganic Materials. - 2006. - V. 42. - No. 2. - P. 121-127
5. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Пак А.Я., Евдокимов А.А. Прямое получение нанодисперсных порошков и композиций в гиперсверхзвуковой струе электроразрядной плазмы// Нанотехника. - 2009. - N 2(18).- С. 38-44.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

PLASMODYNAMIC SYNTHESIS OF NANODISPERSED TI-B PHASES AND OBTAINING TI-B CERAMICS

S.O. Pogorelova¹, D.S. Nikitin², I.I. Shanenkov²

Tomsk Polytechnic University^{1,2}

Institute of Power Engineering

Department of Industrial Electric Power Supply, group 5A5D²

Nowadays, titanium boride (TiB) and titanium diboride (TiB₂) have a lot of physical and mechanical properties, such as high hardness, high melting point, high thermal and electrical conductivity, good wear resistance. TiB and TiB₂ can be used for obtaining functional ceramics, for producing electrodes for melting metals and in mechanical engineering and metallurgy [1]. So the problem of synthesis becomes urgent. Different approaches have been directed to synthesize titanium diboride nanopowders, including mechanical alloying, sol-gel reduction and high energy ball milling [2]. However, there are some problems in synthesis nanopowders of the Ti-B system: high time and energy costs, unsatisfactory phase composition and dispersity of the product [1].

The present work reported a novel way of making nanocrystalline Ti-B phases (titanium boride and titanium diboride) in a hypersonic plasma jet. A hypersonic plasma jet was generated by an original electrical installation called a coaxial magnetoplasma accelerator with titanium electrodes. Principal construction of a coaxial magnetoplasma accelerator is shown in Fig.1. This method has been already successfully used for synthesis of different nanopowders (including the system with titanium) [3]. According to the purpose to synthesize nanosized Ti-B phases, three experiments with different ways of discharge initiations were implemented: 1) using titanium conductors; 2) using carbon fibers; 3) using graphite aerosol (graphitization).

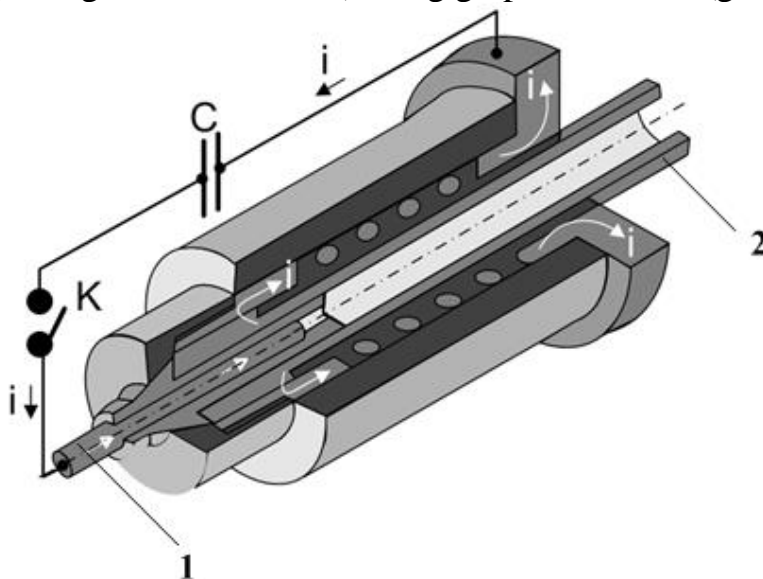


Fig.1. The construction of CMPA: 1 – central electrode; 2 – coaxial electrode

Argon was used as an atmosphere of a reactor chamber. The chamber pressure was 2 atm., its purity was provided by double pumping. A magnetoplasma accelerator was supplied by a capacitive energy storage with a charging voltage $U_{ch} = 3.75$ kV and

a capacity $C = 9.6$ mF, the value of input energy was $W_{in} = 67.5$ kJ. The level of released energy reached about $W_r = 35$ kJ. Amorphous boron in a form of powder was placed into the plasma formation zone. Titanium was introduced into the system by electroerosion from surface of a titanium accelerating channel. Synthesized powder products were analyzed without any preparation by the method of X-ray diffraction (XRD) using Shimadzu 7000 diffractometer. Figure 2 presents typical X-ray diffraction patterns of the powders.

The main results of the experiments were the powder products with mass up to 2.2 g. The main parameters of the experiments and the results of the study are given in Table 1. We can see the phases of TiB and TiB_2 predominate in the synthesized product, which depends on the method of discharge initiation. In the experiment with using graphitization the content of TiB_2 was 93.2%.

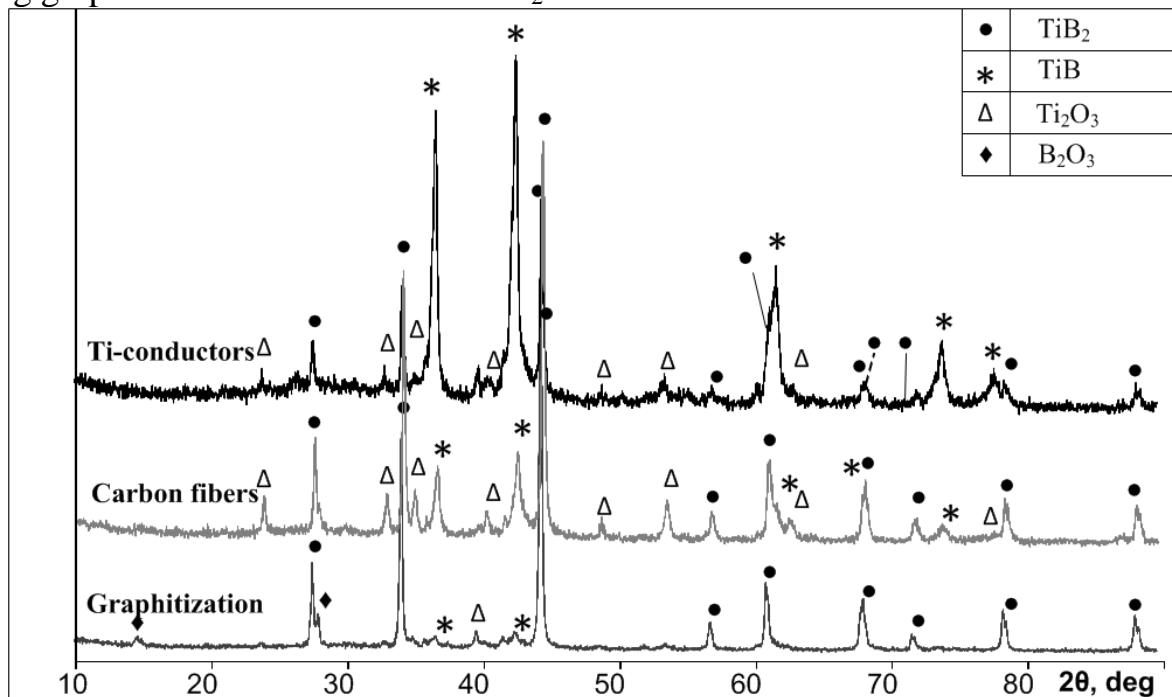


Fig. 2. Diffraction patterns of the synthesized powders

Table 1. The main results of the experiments

№	Ways of discharge initiations	m, g	U_{ch} , kV	P_{max} , kW	W , kJ	Phase composition, %	
						TiB_2	TiB
1	Ti-conductors	2.20	1.40	201	38.3	26.8	66.2
2	Carbon fibers	1.90	1.34	174	36.8	62.1	21.2
3	Graphitization	1.45	1.26	182	33.9	93.2	6.8

Ceramic samples, which were based on the synthesized powders, were obtained by the method of spark plasma sintering (SPS). The advantages of this method are efficiency, speed of the process and suppression grain growth microstructure [3]. The installation of spark plasma sintering SPS-10-4, Thermal Technology was used for obtaining ceramics. The process of obtaining ceramics was characterized by the next parameters: pressure $P = 60$ MPa, temperature $T = 1800^\circ\text{C}$ and holding time $t_T = 5$ minutes. Density of the resulting ceramics for each of the experiments was:

- 1) using titanium conductors $\rho = 3.40 \text{ g/cm}^3$;
- 2) using carbon fibers $\rho = 3.88 \text{ g/cm}^3$;
- 3) using graphite aerosol (graphitization) $\rho = 4.45 \text{ g/cm}^3$.

These samples were processed on a grinding polishing machine for the preparation thin sections Forcipol 1V. The ceramics samples were measured for microhardness on a Galileo hardness tester. The values of microhardness were: 1) $P = 24.7 \text{ GPa}$; 2) $P = 28.3 \text{ GPa}$; 3) $P = 30.3 \text{ GPa}$. Thus, the obtained ceramics showed high values of hardness, depending on the phase composition of the initial powder and hence the way of obtaining the powdered product.

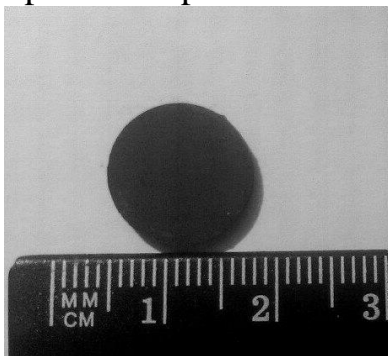


Fig. 3. The ceramic sample obtained from a powder (Experiment 3)

This work was supported by the Russian Science Foundation (project no. 15-19-00049).

REFERENCES:

1. Andrievski R. Nanostructured titanium, zirconium and hafnium diborides: the synthesis, properties, size effects and stability // Russian Chemical Reviews. - 2015.- V. 84 (5).- P. 540-554.
2. M. Masanta, P. Ganesh, R. Kaul, A. Roy Choudhury Microstructure and mechanical properties of $\text{TiB}_2\text{-TiC-Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ composite coatings developed by combined SHS, sol-gel and laser technology // Surface & Coatings Technology. - 2010.- V. 204.- P. 3471-3480.
3. Evdokimov A.A. Diss. Plasmodynamis synthesize ultradisperced titanium nitride and obtaining TiN-ceramics by Spark Plasma Sintering PhD in Engineering sciences. Tomsk: NR TPU, 2013.-p.216.

Scientific adviser: A.A. Sivkov, Grand PhD in Engineering sciences, Prof. of the Department of Industrial Electric Power Supply of the Power Engineering Institute of TPU.

INFLUENCE OF CHAMBER ATMOSPHERE PRESSURE ON THE PRODUCT OF SI-C PLASMODYNAMIC SYNTHESIS

A.R. Nassyrbayev¹, D.S. Nikitin², I.I. Shanenkov³

National Research Tomsk Polytechnic University^{1,2,3}

Institute of Power Engineering, Department of Industrial Electric Power Supply,
Group 5A5D¹

At the present time, silicon carbide is interesting in many spheres of human activity. Ceramic materials based on silicon carbide are widely used due to their high physical and chemical properties, such as melting point, thermal conductivity, oxidation resistance and mechanical strength [1].

It is established that the properties of ceramics based on nanoscale particles and powders are significantly different from those similar coarse-grained ceramics. Nanosized silicon carbide products are characterized by a lower sintering temperature. Nanoscale SiC powders are used for the production of composites with a metal matrix, ceramic foams.

As a component of high-strength ceramics, nanopowder should have the following characteristics: fine particles, about 40-100 nm, relatively uniform shape and high purity [2]. Now, there are various methods for obtaining nanopowders, including silicon carbide, which have their advantages and disadvantages [2,3].

The preparation of nanodisperse silicon carbide based on plasmodynamic synthesis of silicon and carbon. The formation of a nanosized powder is shaped in a hypervelocity jet of a carbon-silicon plasma generated by a coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA) with graphite electrodes [4]. CMPA is powered by a capacitive energy storage ($C = 6 \text{ mF}$, $U = 3 \text{ kV}$).

The precursors in experiments were carbon black (soot) and silicon powder, which were mixed. Then mixture with a mass of 0.5 g, was placed (in a ratio Si : C – 3 : 1) into the plasma formation zone at the beginning of the accelerating channel. Hypervelocity plasma flowing was carried out in the hermetic reactor chamber's atmosphere, which was filled with argon at variate pressures ($p = 0.5, 1.5, 3.0, 5.0 \text{ atm.}$). The synthesized powder was gray. The product was collected after complete precipitation of the suspended particles on the bottom-wall and the reactor chamber.

The powder was investigated by the following methods: X-ray diffractometry (Shimadzu XRD 6000 ($\text{CuK}\alpha$ - radiation)); TEM-transmission electron microscopy (Philips CM 12).

Fig.1 shows powder's X-ray diffraction which were obtained with a significant difference in pressure. The summation of reflexes of different intensity indicates the presence of several components in the products. The structure-phase analysis of XRD was complete using PowderCell 2.4 software and a PDF4+ structure database. Using them, we can conclude that in all cases the reflex with the highest intensity corresponds to cubic silicon carbide $\beta\text{-SiC}$ (in the fig. 1 - \blacktriangle 111).

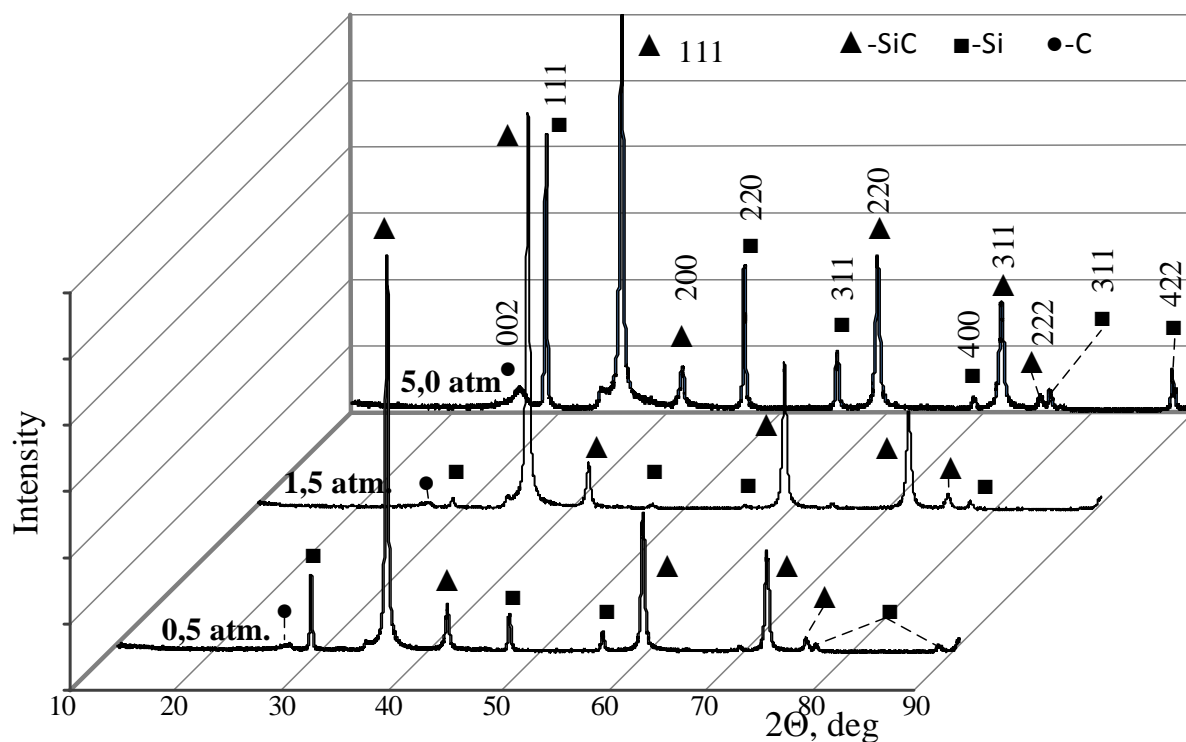


Fig. 1. X-ray diffractions of synthesized powders.

According to the summary table of the experiments (Tab. 1), the mass content of cubic silicon carbide predominates in powders of all experiments. Also, coherent-scattering region (CSR) values shows that the product of synthesis is nanodispersed. But Fig.2 shows that SiC content decreases, when atmospheric pressure in the reactor chamber increases. This dependence is determined by the concentration of the gas atmosphere which resists to movement of the plasma jet entering to the reactor chamber. Silicon carbide has no time to be formed sufficiently, so the content of additional phases (cubic silicon Si and graphite C) increase.

Tab. 1. Basic data of structural and phase analysis.

Phase p, atm	SiC		Si		C	
	Mass. %	CSR, nm	Mass. %	CSR, nm	Mass. %	CSR, nm
0.5	90.9	60	6.4	52.4	2.7	40
1.5	96.8	50	0.9	17	2.3	35
3.0	88.3	38	2.0	24	9.7	20
5.0	67.8	27	19.9	74	12.3	14

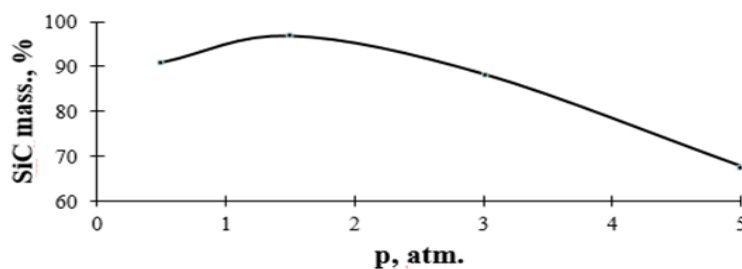


Fig. 2. Dependence of the SiC content on the atmospheric pressure of the reactor chamber.

TEM pictures (typical micrographs are shown in Fig.3-4) confirm that the increase in pressure adversely affects the purity of the product. Fig. 4 clearly shows all phase components of the synthesized product: silicon carbide, as polygons with conjugate vertices, as well as finely dispersed silicon and carbon.

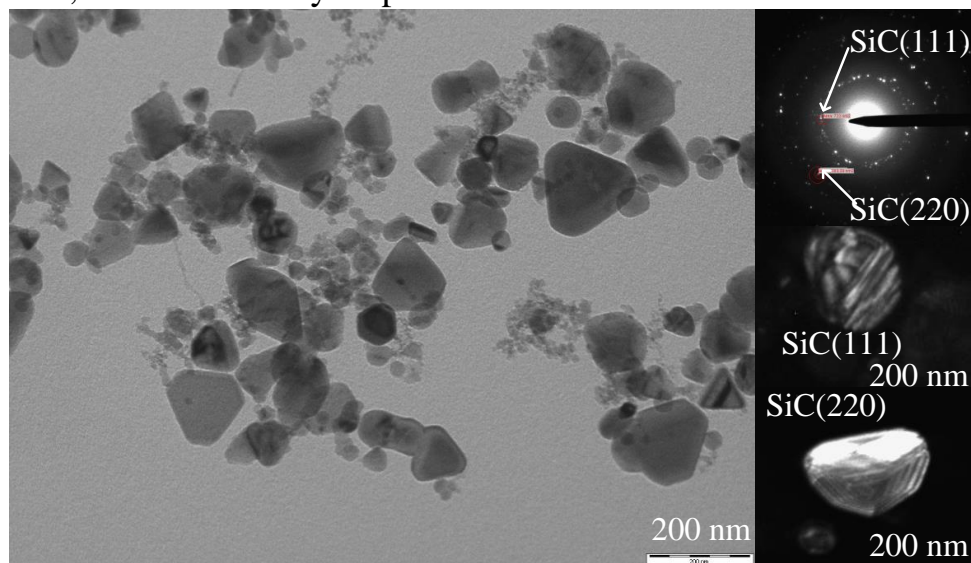


Fig. 3. A microphotograph of the product obtained at a pressure $p = 1.5$ atm.

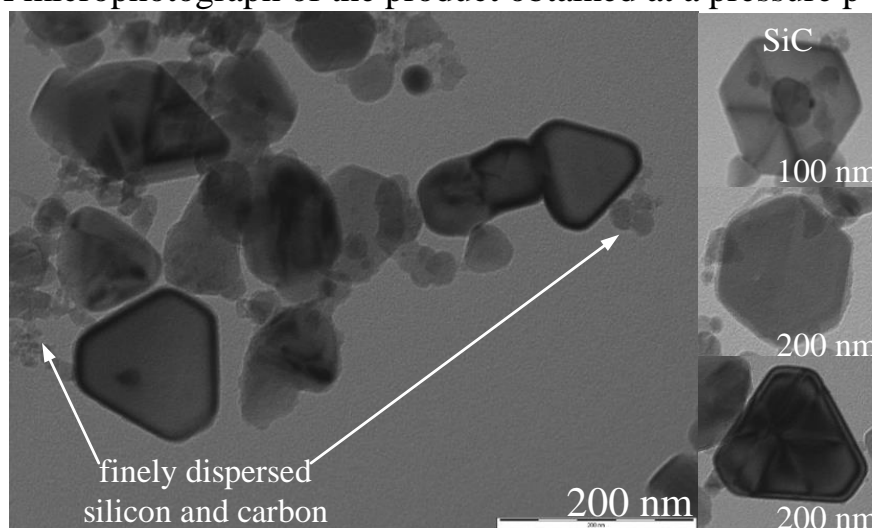


Fig. 4. TEM images of cubic silicon carbide.

The experimental data proves that nanodispersed cubic silicon carbide β -SiC was obtained in all experiments. It is empirically established that the content of silicon carbide decreases when reactor chamber's atmospheric pressure rises. The characteristics required for high-strength ceramics: a high content of cubic silicon carbide (96.8%) and a nanodispersed composition are reached at $p = 1.5$ atm.

REFERENCES:

1. Mehan R.L. Effect of SiC content and orientation on the properties of Si/SiC ceramic composite //Journal of Materials Science. – 1978. – №. 2. – P. 358-366.

2. Najafi A. et al. Synthesis and characterization of SiC nano powder with low residual carbon processed by sol–gel method //Powder technology. - 2012.- P.202-210.
3. Van Laar J.H. et al. Microwave-plasma synthesis of nano-sized silicon carbide at atmospheric pressure //Ceramics International. – 2015. – Т. 41. – №. 3. – С. 4326-4333.
4. Sivkov A.A., Pak A.Y. RF Patent no. 2431947 //H05H. – 2010. – Т. 11. – №. 00. – С. F41B.

Scientific adviser: A.A. Sivkov, PhD in Engineering sciences, Prof. of the Department of Industrial Electric Power Supply of the Power Engineering Institute of TPU.

СИНТЕЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

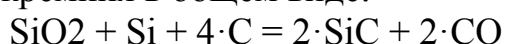
Т.С. Квашина, В.И. Чушенков

Новосибирский государственный технический университет

Неметаллические тугоплавкие соединения обладают такими свойствами, как высокая температура плавления, твердость, химическая инертность, благодаря чему они широко применяются в качестве основы конструкционных, полупроводниковых, жаропрочных и абразивных материалов. Одним из наиболее важных представителей соединений данного класса является карбид кремния.

Основными способами получения карбида кремния считаются карботермическое восстановление, проходящее с поглощением теплоты при температурах свыше 2000 °С, и синтез из элементов, который можно охарактеризовать как самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). В данной работе исследуется возможность объединения двух этих технологий с целью получения высокотемпературной модификации карбида кремния при более низких затратах энергии.

Шихта готовилась в соответствии со стехиометрией обеих реакций и далее смешивалась в соотношениях карботермическое восстановление : синтез из элементов 1:1. Суммарное уравнение химической реакции комбинированного метода синтеза карбида кремния в общем виде:



В качестве углеродного материала для синтеза карбида кремния был выбран нановолокнистый углерод, характеризующийся высоким значением удельной поверхности (~150 м²/г) [1]. Ранее нановолокнистый углерод для синтеза карбида кремния не использовался.

Процесс синтеза проводился в индукционной печи тигельного типа в среде аргона. Было решено провести эксперименты с разными температурами синтеза: 1600 °С (образец SiC-16) и 1800 °С (образец SiC-18). Продолжительность каждого синтеза составила около 20 минут. Полнота прохождения процесса, протекающего с участием газовых компонентов, определялась по убыли массы.

Полученные значения незначительно превышают теоретическое, что, возможно, свидетельствует об улетучивании монооксида кремния из реакционной зоны в процессе синтеза.

Полученные образцы были изучены методами рентгенофазового анализа, энергодисперсионного анализа, сканирующей электронной микроскопии, седиментационного анализа, синхронного термического анализа.

Результаты рентгенофазового анализа полученных образцов (рис. 1) показали, что в обоих случаях был получен карбид кремния высокотемпературной модификации (α -SiC), а образец, полученный при 1800 °С, содержал непрореагировавший диоксид кремния.

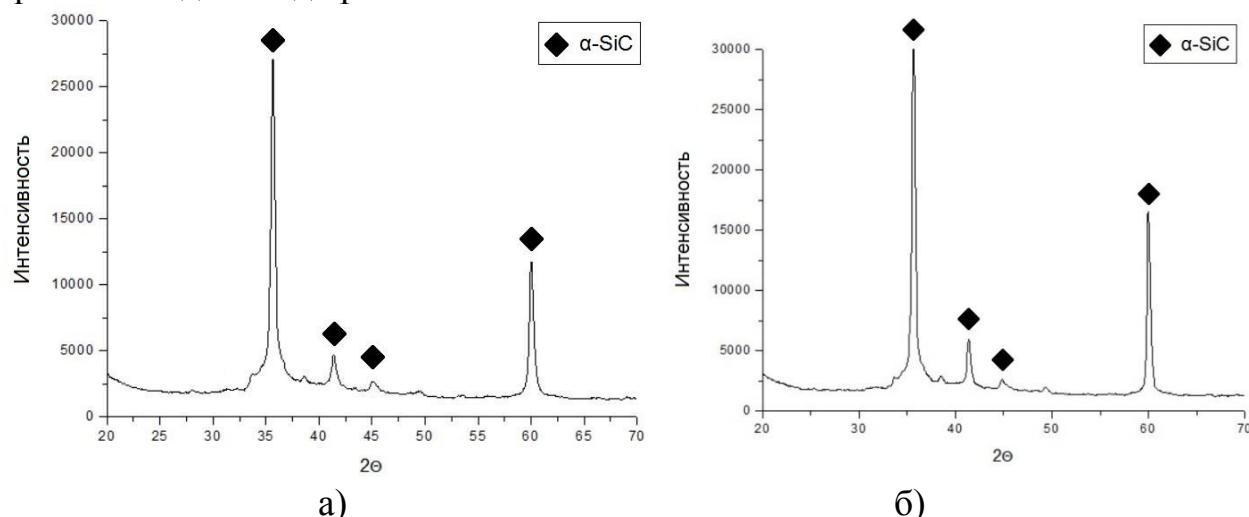


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа: а - SiC-16; б – SiC-18

Энергодисперсионный анализ образцов показал, что в результате синтеза при температуре 1600 °С в малых количествах в образце остался непрореагировавший диоксид кремния. При 1800 °С диоксида кремния в образце не осталось.

Также с полученными образцами был проведён синхронный термический анализ (рис. 2), согласно которому образец, полученный при 1800 °С, содержит примерно 2,8 % углерода, который окисляется в промежутке температур 500-700 °С. Также у обоих образцов происходит незначительное увеличение массы, что свидетельствует о том, что в них присутствует компонент, способный окисляться при этих температурах (скорее всего кремний).

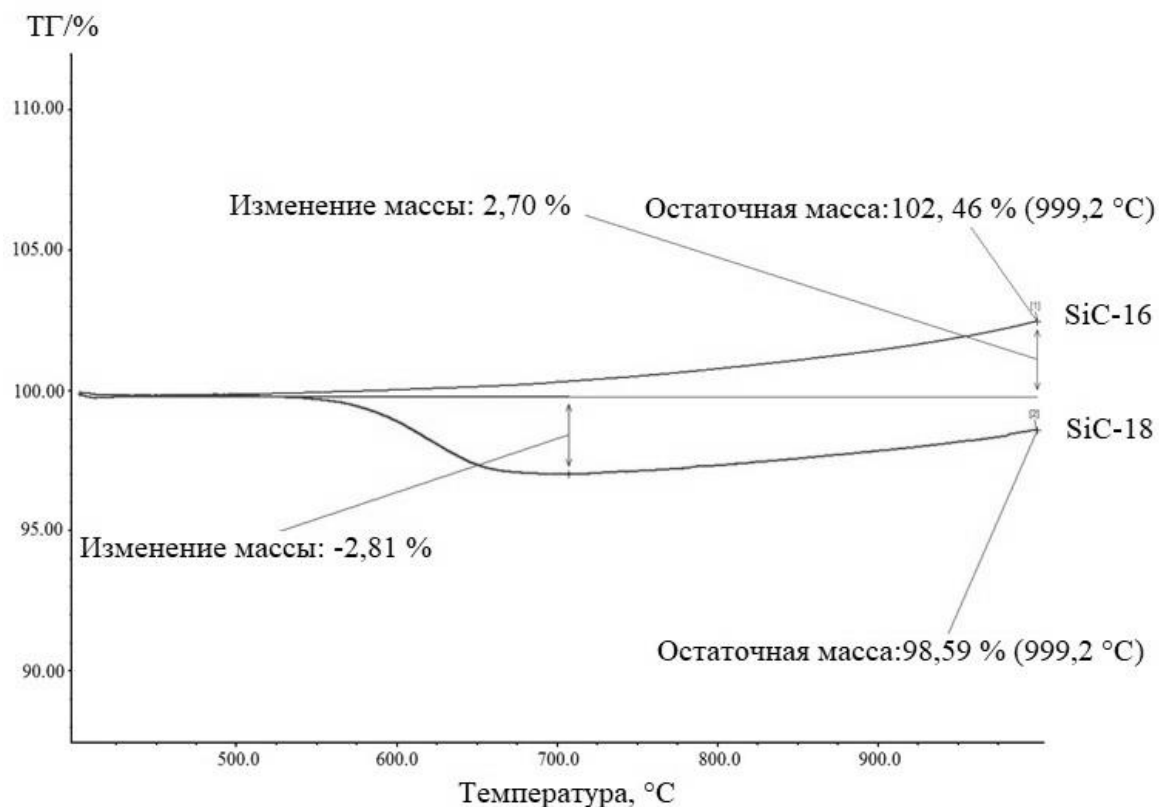


Рис. 2. Результаты термогравиметрического анализа

Согласно результатам сканирующей электронной микроскопии, представленным на рисунке 3, частицы карбида кремния, полученного при комбинировании методов, агрегированы, имеют ровные края, что свидетельствует о том, что они были получены по химическим реакциям. Размеры частиц варьируются примерно от 0,4 до 20 мкм в зависимости от температуры синтеза.

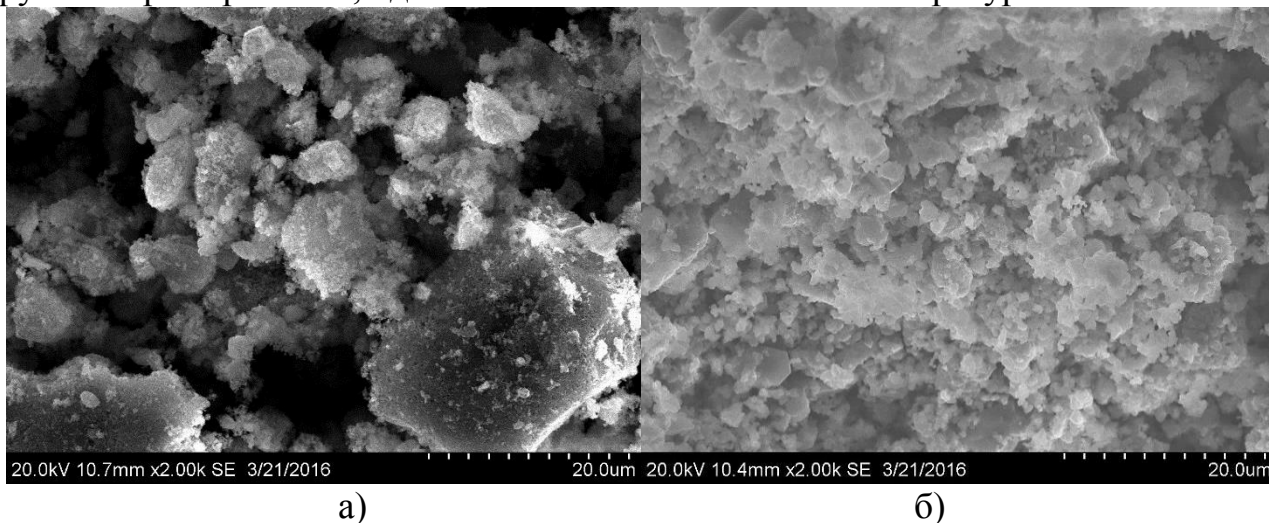


Рис. 3. Результаты сканирующей электронной микроскопии:
а - SiC-16; б – SiC-18

Характерной чертой полученных порошкообразных материалов является широкое распределение частиц по размерам и склонность к агрегации. Кривые распределения частиц по размерам представлены на рисунке 4. Для определения среднего размера частиц/агрегатов полученных образцов были проведены

расчёты по методике [2]. Средний размер частиц полученных образцов варьируется от 3,3 до 4,2 мкм.

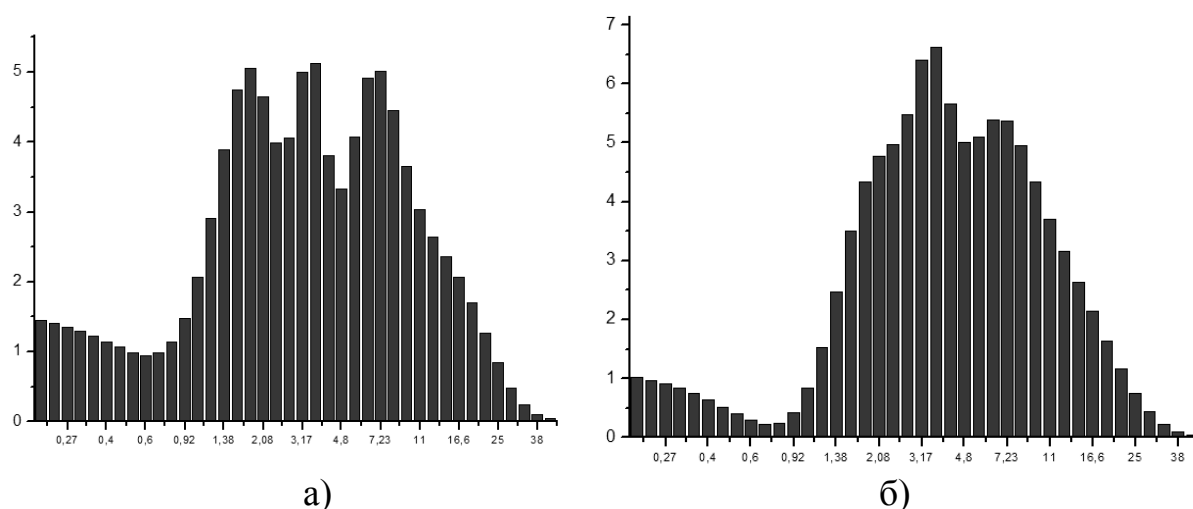


Рисунок 3 – Результаты седиментационного анализа:
а - SiC-16; б – SiC-18

Таким образом можно отметить, что комбинирование экзо- и эндотермических реакций с целью снижения температуры синтеза карбида кремния является эффективным.

На основе проведенных исследований оформлена заявка на изобретение «Способ получения карбида кремния».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Соловьев Е.А. Получение водорода и нановолокнистого углерода селективным каталитическим пиролизом легких углеводородов. Дис. канд. хим. наук - М., 2008.
2. Blott S.J., Pye K. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // Earth Surf. Process. Landforms. 2001. №26. P. 1237 – 1248.

Научный руководитель: Ю.Л. Крутский, к.т.н., доцент НГТУ.

DIRECTORY OF ELECTRICAL ENGINEERING EQUIPMENT PARAMETERS BASED ON CIM-OBJECTS

A.E. Artemev
National Research Tomsk Polytechnic University
IPE, DPGEE, group 5AM6D

Currently, a large number of different software solutions are used to organize the management process of EPS. In most cases, there is no information interaction between them, or modules are used to convert data from one format to another. With this transformation, there may be distortion or loss of information, which makes it difficult to integrate the software. To solve this problem, a method for standardizing

the architecture of systems, inter-level and intra-system interfaces, data structures, etc. was developed. In other words, theoretically, it became possible to build systems following the descriptions of a designer with a known set of components. In particular, the most important and often mentioned standard for describing the general information model of an object, that provides effective information interaction between levels and applications within the level - CIM (Common Information Model) presented in IEC standards of series 61970 and 61968 [1] - [2].

CIM or a generalized information model is an abstract model that presents all the set of elements of the electric power system in a standard way in the form of a description of the objects, their properties and the relationships between them. Such unified description allows integration of various applications performed by independent manufacturers [3].

Large manufacturers (mainly Western) produce libraries of CIM-objects of their products. However, more and more often CIM-objects are represented as "black boxes", which can be used to calculate modes, but you can't look at the mathematical model of the equipment. At the same time, there is no general specialized electronic resource where it is possible to compare the parameters for all similar products to date. A single directory for electrical equipment parameters based on CIM objects would help solve a number of problems:

1. Inadequacy of information from several sources. Multiple duplication of information leads to errors in duplicate sources. For example, when reprinting directories, especially on hard media, there are almost always differences from the original information, caused by the introduction of errors of various kinds.
2. Inaccessibility of information. The experience of searching for the parameters of electrical equipment shows that it is almost impossible to find the necessary data in open sources. Thus it is necessary to use the data from old directories which also could be missing a part of the necessary information.
3. Diversity of information representation. In the various reference books, the same parameters are represented in different forms. For example, for a transverse capacitance of power lines and cables, the following is used: phase-to-ground capacitance and phase-to-phase capacitance, or capacitive conductance or reactive power. The heterogeneity of the presentation of information requires certain knowledge on their redefinition, which is also a source of error.
4. Correcting erroneous data. The software that is supplied to utility companies usually includes pre-installed electrical equipment directories in which the parameters of the same elements can have different values. In this case, correcting erroneous data in one directory does not lead to correction of the error as a whole. Thus, the general unreliability of the initial information accumulates.

In the course of this work, we develop a CIM-model directory that allows us to present data by our CIM descriptions taking into account the specific properties of the description of power equipment in the form of database tables.

As a result of the work done, the concept of creating a single information resource of reference information of electrical equipment based on CIM-models (Figure 1) was formulated to solve the following problems:

1. Storing the reference information.
2. Correcting erroneous data, constant monitoring.
3. Standardization of data representation (use of certain terms and mathematical models).
4. Providing the latest version of the unified information to Users.
5. Receiving data from information producers and placing it in the library.
Collection of information from open sources.

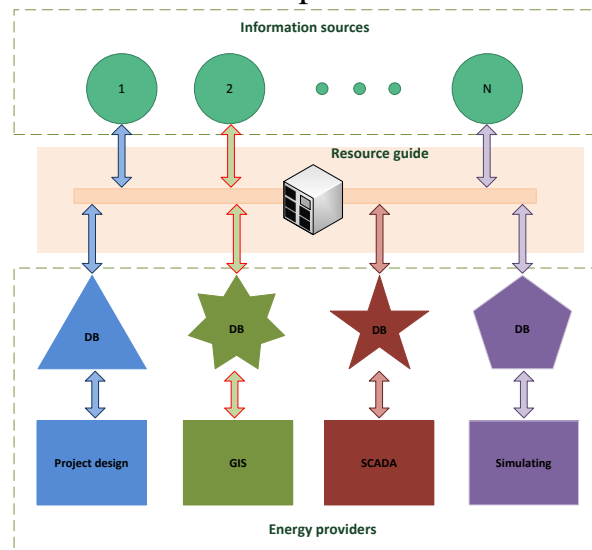


Fig. 1. Functional diagram of data input of electrical equipment parameters through common reference of CIM-objects

The specificity of the data representation is that the CIM object is a class hierarchy with a specific set of attributes in each class [4]. Figure 2 shows a brief UML description of the CIM-model of the transformer, as seen in the figure, we see a large number of attributes that describe the model.

The task of a single information resource will be to store all the reference information and provide it in a form convenient for the user (in the form of database tables (databases) and CIM object libraries). The task is also in the standardization of data representation (using unified terms and mathematical models).

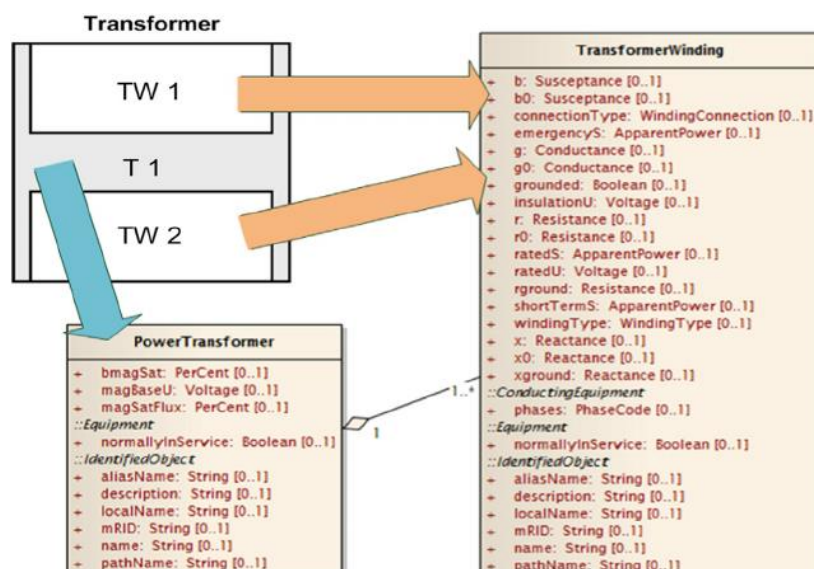


Fig. 2. UML description of the CIM-model of the transformer.

REFERENCES:

1. IEC 61970-301: Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 301: Common information model (CIM) base.
2. IEC 61970-302: Energy management system application program interface – Part 302: Common information model (CIM) financial, energy scheduling and reservations.
3. Makoklyuev BI, Polizharov AS, Litvinov P.V. Modern approaches to the construction of information models in the electric power industry. Problems of the Unified System for Classification and Coding Information // Energynok. - 2009. - №2. - P. 59-64.
4. “IEC 61970 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 301: Common Information Model (CIM) Base”, IEC, Edition 1.0, November 2003.

Scientific supervisor: S.V. Svechkarev, Cand.Tech.Sci., Associate Professor of the Department of EPS Enin TP

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

М.Д. Жульмина

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5ГМ74

Энергоснабжение – важнейший аспект функционирования всех промышленных предприятий. В связи с этим, особо важно спроектировать систему электроснабжения для промышленного предприятия, которая будет являться надежной, и включать в себя рационально подобранное оборудование. Объек-

том исследования является завод по производству запасных деталей к тракторам.

Первым этапом проектирования является выбор рациональной схемы для электроснабжения цехов, а затем и самого предприятия. На выбор влияют категория потребителей по надёжности электроснабжения, взаимное расположение электроприемников по площади цеха, их единичная мощность, связанность электроприемников единым технологическим процессом. Далее производится расчёт нагрузок цехов методом упорядоченных диаграмм и расчёт нагрузки всего предприятия методом коэффициента спроса.

Для питания предприятия электроэнергией необходимо выбрать место установки главной понизительной подстанции (ГПП). С точки зрения экономических соображений целесообразно устанавливать ГПП центр электрических нагрузок (ЦЭН). Картограмма нагрузок является генпланом предприятия, на котором изображены, ограниченные кругами, площади. Эти площади соответствуют расчётным нагрузкам цехов в масштабе (Рис. 1).

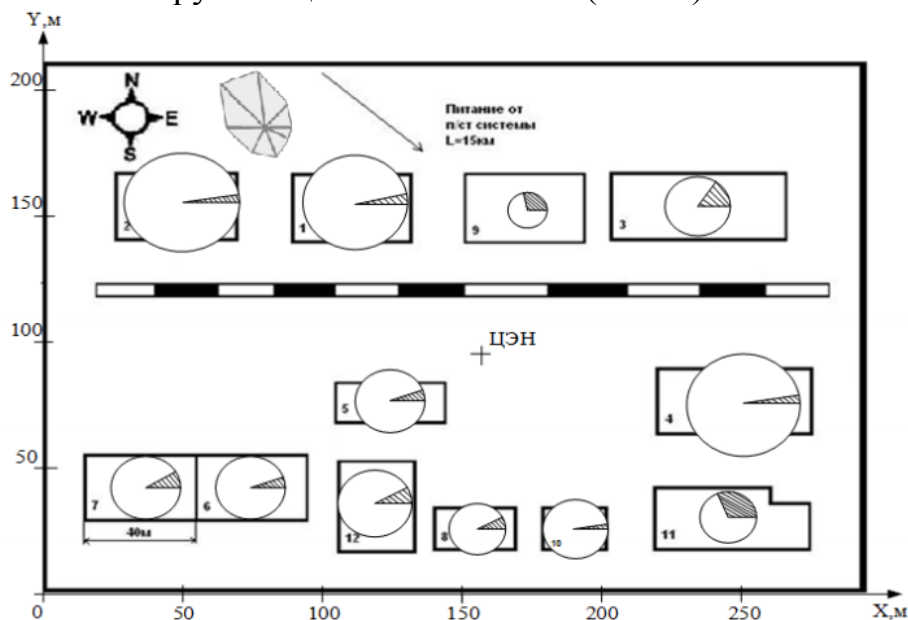


Рис. 1. Картограмма электрических нагрузок для завода по производству запасных деталей к тракторам

Важным этапом проектирования является выбор числа, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций (ТП). Устанавливая цеховые трансформаторы на предприятиях, их номинальную мощность определяют с помощью удельной плотности нагрузки предприятия. Удельная плотность (δ) нагрузки определяется согласно по формуле (1):

$$\delta = \frac{S_p^n}{F_{\text{ц}}} \quad (1)$$

где, S_p^n - полная расчетная мощность завода в сети напряжения до 1000В;
 $F_{\text{ц}}$ - площадь согласно генплану всех цехов завода, м².

Для данного предприятия $\delta = 0,09 \frac{\text{кВА}}{\text{М}}$, при этом значении целесообразно устанавливать трансформаторы мощностью 630 кВА. А минимальное число трансформаторов равно 10.

Следующим этапом проектирования является выбор числа трансформаторов с учётом компенсации реактивной мощности. Для компенсации используется синхронный двигатель, установленный на предприятии, но этого недостаточно. В связи с этим рассматриваем варианты установки конденсаторных батарей (БК) на сторонах низкого и высокого напряжения. После технико-экономических расчётов получается, что экономически выгодно устанавливать БК на стороне низкого напряжения. Во всех цехах производим установку трансформаторов марки ТМ. Нагрузки цехов, которые расположены рядом – объединяем. Запитываем трансформаторы согласно радиальной схеме.

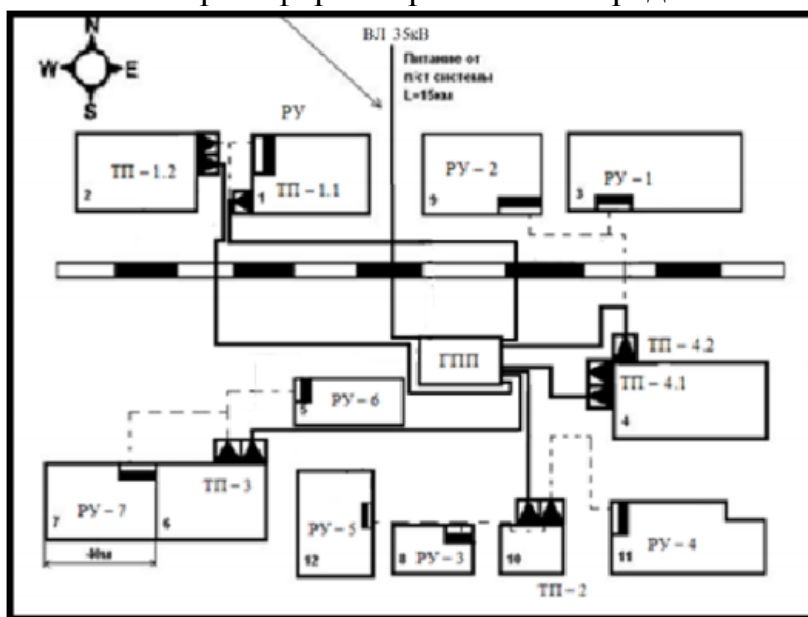


Рис. 2. Расположения цеховых ТП для завода по производству запасных деталей к тракторам

В последствии, следует выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия, выбор трансформатора ГПП, сечения линии питающей ГПП. Сечение линии $F_{\text{ЭК}}$ выбирается методом экономической плотности тока $j_{\text{ЭК}}$:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}$$

Далее следует расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000В. Необходимость нахождения токов короткого замыкания заключается в том, чтобы правильно подобрать токоведущие части электрических установок и всех электрических аппаратов. Необходимо определить наибольший ток КЗ, который проходит через электрические аппараты и токоведущие части, чтобы исключить их разрушение. Первым этапом расчёта токов короткого замыкания является составление упрощенной однолинейной схемы электроустановки. В данной схеме необходимо учитывать все трансформаторы, источники питания,

воздушные и кабельные линии электропередач. Источниками питания являются – генераторы ТЭЦ, подстанции энергосистемы.

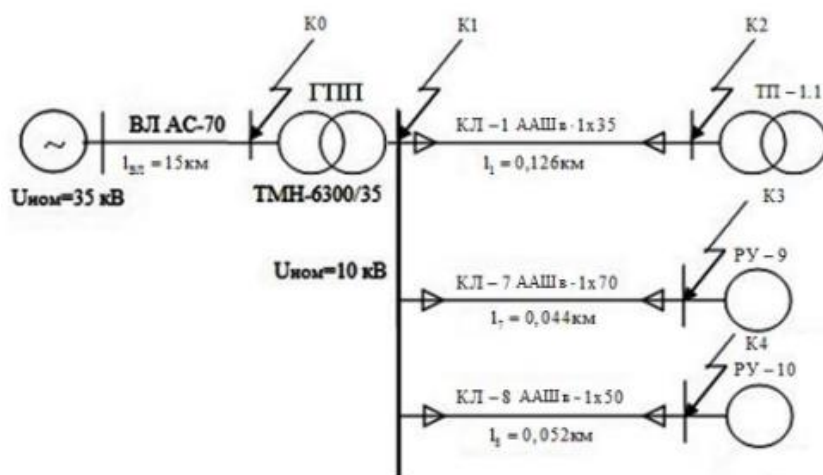


Рис. 3. Расчетная однолинейная схема сети для расчёта токов короткого замыкания

В результате расчёта, выбранный к установке кабель марки ААШв, проходит проверку на термическую стойкость при коротком замыкании в начале линии. ААШв – алюминиевый кабель с наружной изоляцией и поливинилхлорида, которых подходит как для сухих, так и для пожароопасных зон.

После выбираем оборудование ГПП, а именно: комплектное распределительное устройство на стороне низкого напряжения и выключатели, разъединители, трансформаторов тока и напряжения, предохранители, ограничители перенапряжения на стороне высокого напряжения. В итоге всех расчётов получаем схему внешнего электроснабжения завода по производству запасных деталей к тракторам.

Далее следует внутрицеховое электроснабжение. Оно так же включает в себя выбор сечения проводников к электроприемникам, выбор защитных аппаратов, расчёт токов короткого замыкания. А так же выбор распределительных шкафов и проверке питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения. Итогом расчёта являются эпюры отклонения напряжения и карты селективности действия защитных аппаратов.

По итогам работы получается завершённая система внутреннего и внешнего электроснабжения предприятия. При выборе оборудования, оно проходило все необходимые проверки. Их этого можно сделать вывод, что система электроснабжения является надёжной и готова к применения на промышленном предприятии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий //учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2012. – 288 с.
2. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию // учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2005. – 168 с.

3. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра. – Томск: ТПУ, 2001 – 93 с.
4. А.В. Кабышев, Электроснабжение объектов//учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2007. – 185с.
5. Климова Г.Н., Элементы энергосбережения в электроснабжении промышленных предприятий// учебное пособие, -Томск: ТПУ, 2008.
6. Правила устройства электроустановок : Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с., ил.
7. Мельников М. А. Внутривзаводское электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск:Изд. ТПУ, 2004. – 180 с.

Научный руководитель: Л.П. Сумарокова, к.т.н., доцент кафедры ЭПП ЭНИН ТПУ; консультант: И.А. Розаев, ассистент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МИКРОГЭС

А.М. Козырев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5А5Г

МикроГЭС – это установки локального характера, которые позволят получать более дешевую электроэнергию в малосолнечных странах, и на протяжении 24 часов в сутки.

Для того чтобы перейти к непосредственному созданию микроГЭС, необходимо рассмотреть характер поведения точки в вихревом движении жидкости. Для начала, предложим некоторые изменения в конструкции уже существующих микроГЭС. Вместо прямого подхода к основному цилиндру (рис 1.):



Рис. 1. Фотография действующей МикроГЭС (г. Оберграфендорф)

МикроГЭС будет иметь сужающуюся по ширине трубу, и будет иметь следующий вид (рис 2.)

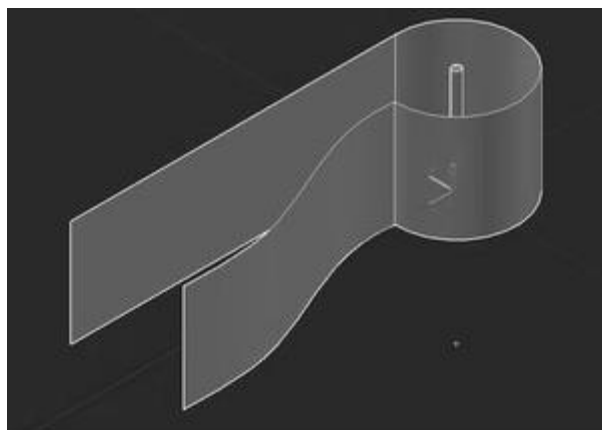


Рис. 2. Модель конструкции МикроГЭС.

Благодаря уменьшению сечения трубы, поток жидкости будет ускорен при входе в основной цилиндр. Предположим некоторые изначальные данные: Пусть общий поток жидкости в реке движется со скоростью V , тогда после прохождения трубы, постепенно сужающейся в диаметре, на выходе будем иметь скорость в соответствии с законом Бернулли:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2) + \rho v_1^2}{\rho}} \quad (1)$$

Получили среднюю скорость потока жидкости на выходе из узкой трубы, в следствии с геометрией, то есть труба была с постепенно уменьшенным сечением, на выходе скорость потока:

$$v_2 > v_1 \Rightarrow E_{k2} > E_{k1} \quad (2)$$

В следствии возрастания скорости, наблюдается прирост кинетической энергии, значит генератор электрической энергии будет вырабатывать на выходе большее количество электричества, а значит вырастает коэффициент полезного действия установки.

Ламинарное и турбулентное течение:

При ускорении потока жидкости, путем уменьшения площади сечения трубы, возникает вероятность появления турбулентного течения, в следствии которого будет происходить потеря необходимой для раскручивания лопастей кинетической энергии, за счет появления на выходе вихрей произвольного характера. Требуется учитывать данное явление уравнением для критического числа Рейнольдса. Пусть труба, в которой поток получает дополнительное ускорение, является прямой с сужением на конце, и с гладкими стенками. Тогда критическое значение числа Рейнольдса, при превышении которого возникает турбулентное течение равно: $Re_{кр} = 2300$. Из предположенных соображений, найдем оптимальную площадь поперечного сечения после сужения (для предотвращения дополнительных расчетов, будем считать что труба, уменьшется постепенно со всех сторон, сохраняя при этом в своем сечении окружность):

$$Re_a = \frac{Q \cdot D_z}{\nu \cdot A} \quad (3)$$

Где:

A – Площадь поперечного сечения трубы;

Q – Объемная скорость потока;

ν – Кинематическая вязкость среды;

D_r – гидравлический диаметр (мера эффективности русла в пропускании потока жидкости. Чем меньше гидравлический диаметр, тем большее сопротивление потоку оказывает русло (при одинаковой площади поперечного сечения потока)).

Выразим из выбранного отношения оптимальную площадь поперечного сечения трубы, с учетом того, что в нашем случае $Re_{кр} = 2300$:

$$A = \frac{Q \cdot D_z}{2300\nu} \quad (4)$$

При выборе места установки миниГЭС, необходимо учитывать в конструкционных размерах данное соотношение для диаметра трубы. Скорость течения потока учитывает величина Q .

Теоретическое описание движения точки в области вихревого потока.

После выхода потока из трубы в цилиндрическую ванну с отверстием, за счет сил Кориолиса, геометрического строения ванны, ламинарное течение жидкости начинает плавно переходить в турбулентное, то есть число Рейнольдса доходит до своего критического значения. В потоке происходят завихрения, неравномерно по всей поверхности, до образования стабильного большого вихря. Скорость материальной точки будут выглядеть следующим образом (рис 3.)

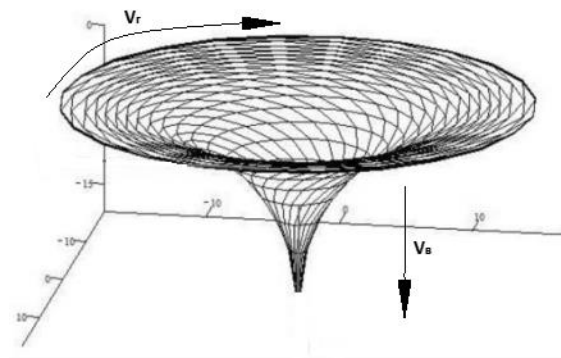


Рис. 3. Скорость потока.

Направление на рисунке указывают направление скорости движения. То есть точка участвует в сложном движении, по всем координатам. В общем итоге, все скорости могут быть описаны двумя составляющими: вертикальная и горизонтальная. Для начала рассмотрим горизонтальную составляющую. Пусть плоскость, в которой точка совершает движение, лежи в плоскости uOx , тогда рассмотрим движение (рисунок 4)

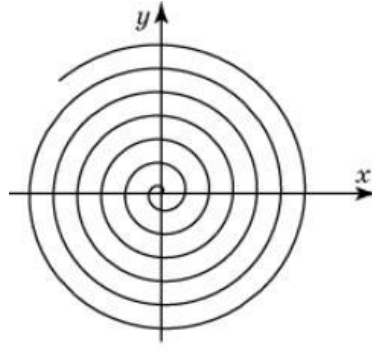


Рис. 4. Движение точки в плоскости.

Движение происходит по спирали Архимеда, для того чтобы описать скорость этом случае, запишем в полярных координатах уравнение спирали Архимеда:

$$\rho = \frac{a}{2\pi} \varphi \quad (5)$$

В этом уравнение a – шаг спирали. Так как рассматривается движение точки во времени, то величина модуля и угла будут функциями времени, тогда предложенное выражение запишем следующим образом:

$$\rho(t) = \frac{a}{2\pi} \varphi(t) \quad (6)$$

Продифференцируем данное выражение по переменной t :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= \frac{a}{2\pi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{a}{2\pi} \omega(t) = v_{\text{зоп}} \\ v &= \sqrt{v_{\text{зоп}}^2 + v_{\text{вер}}^2} \end{aligned} \quad (7)$$

Для того чтобы установка имела место быть, нам необходимо, чтобы точка приобретала ускорение по мере увеличения времени, и уменьшения радиуса, тем самым за счет ускорения будет возрастать кинетическая энергия, которую в дальнейшем мы преобразовываем в электрическую энергию.

$$L_1 = mv_1 R_1 \quad (8)$$

После некоторого промежутка времени t . Радиус уменьшится, и тело будет совершать вращение по окружности радиусом $r = R_2 < R_1$, тогда момент импульса для второго случая будет равен:

$$L_2 = mv_2 R_2 \quad (9)$$

По закону сохранения момента импульса, имеем:

$$L_1 = L_2 \quad (10)$$

Отсюда можно получить скорость вращения точки по меньшему радиусу:

$$mv_1 R_1 = mv_2 R_2 \Rightarrow v_2 = \frac{R_1}{R_2} v_1 \quad (11)$$

Из соотношения (11) видно, что чем меньше R_2 тем больше скорость v_2 , далее вывод строится из условия, что $R_2 < R_1$, то есть дробь в данном случае

всегда больше единицы, а это означает, что скорости определяются как: $v_2 > v_1$. Значит, что при уменьшении радиуса вращения точки, ее скорость увеличивается. Однако, точка движется во времени, то есть радиус является функцией времени, следовательно конечное выражение принимает вид:

$$v_2 = \frac{R_1}{R_2(t)} v_1 \quad (12)$$

Следовательно, так как с уменьшением радиуса возрастает, а радиус со временем убывает, то скорость со временем растет, причем зависимость скорости от времени выражается графиком:

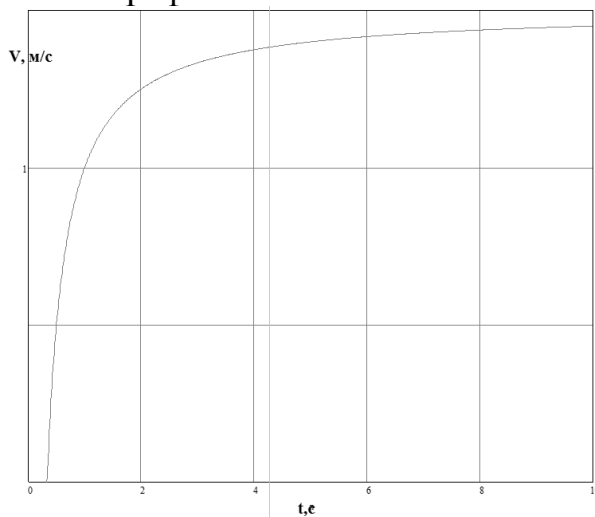


Рис. 5. Скорость движения точки от времени

Из графиков можно сделать вывод, что скорость по началу стремительно возрастает, до определенного момента, но затем асимптотически стремится к определенному значению, претерпевая незаметные изменения во времени, она достигнет своего максимума лишь в пределе, а конструкционно это невозможно. Таким образом, установка лопастей для раскручивания вала, зависит от того на какой координате скорость роста графика скорости от времени станет наиболее медленной, тем самым мы обеспечиваем максимальную подачу энергии раскручивания, и не затрудняем движение потока турбулентными течениями. Высота центрального цилиндра и глубина установки главного вала, также зависят от величины предельной скорости.

Размеры, и форма входной трубы потока выбирается из соображений критического значения числа Рейнольдса, для предотвращения на больших скоростях возникновения турбулентного течения, а в последствии этого потерю кинетической энергии потока.

В итоге, после проведенных расчетов и всех сделанных выводов, можно с уверенностью сказать о том, что в перспективе развития миниГЭС лежит огромный запас энергии за счет которой коэффициент полезного действия установки многократно возрастет.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.:Мир.—1973.—760 с

2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика (Теоретическая физика. Т. VI).—М.: Наука.—1988.—736 с.— ISBN 5-02-013850-9.

Научный руководитель: В.В. Шестакова, к.т.н., доцент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

УСТАНОВКА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПРИРОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

П.В. Христенко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В настоящее время существует множество способов получения энергии из возобновляемых источников. В данной работе рассматривается получение энергии от земляной батареи, её преобразования и увеличения мощности.

Для извлечения энергии от земляной батареи в почву устанавливаются электроды длиной 3 метра, как показано на рис. 1.

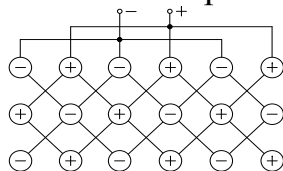


Рис. 1. Эскиз земляной батареи

Электроды положительных и отрицательных потенциалов соединяются параллельно-последовательно.

Для повышения постоянного напряжения от земляной батареи используется электромагнитный преобразователь, электрическая схема которого приведена на рис. 2.

На выходе получаем увеличение напряжения примерно в 24 раза (от 0,5 В до 12 В). При таком напряжении стабильно горит светодиодная лампа на номинальное напряжение 12 Вольт и мощностью 1 Ватт.

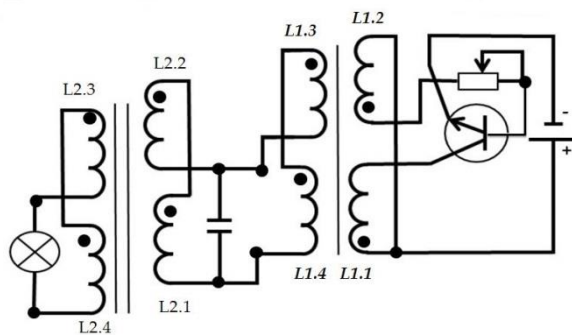


Рис. 2. Схема электромагнитного преобразователя.

Для дальнейшего увеличения мощности используется схема, приведённая на рисунке 3

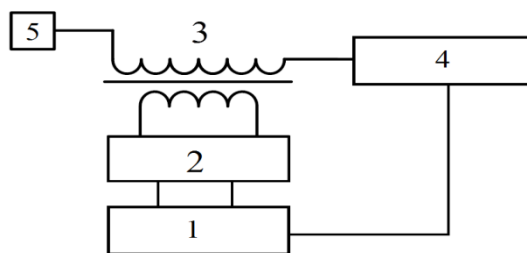


Рис. 3. Схема установки: 1 - земляная батарея, 2 - преобразователь переменного напряжения, 3 - трансформатор Тесла, 4 - нагрузочный трансформатор, 5 - антенна (уединенный конденсатор)

Установка представляет собой незамкнутую (однопроводную) электрическую цепь (рис.3), на одном конце её включена антенна 5, изолированная от земли, но расположена на одной высоте с установкой. Антенна представляет собой металлическую пластину. На уединённый конденсатор с помощью трансформатора Теслы подаётся переменное напряжение свыше 1000 Вольт и частотой до 1 МГц. На низковольтную обмотку этого трансформатора работает генератор периодического напряжения, питающийся от земляной батареи 1. К другому контакту повышающей обмотки трансформатора подсоединён нагрузочный трансформатор 4, заземлённый на минусовой потенциал земляной батареи 1.

Устройство и принцип работы нагрузочного трансформатора.

Схема трансформатора представлена на рисунке 4.

Трансформатор представляет собой усилитель мощности с бифилярно-дипольными обмотками. Усиление мощности происходит за счёт разделения зарядов в бифилярной обмотке и их соединение в дипольной обмотке.

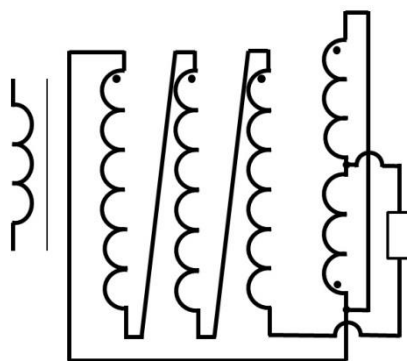


Рис.4. Схема нагрузочного трансформатора

Использование данной установки будет выгодно для городских жителей, имеющих земельные участки, дачи и для сельского населения. Полученная от земляной батареи и преобразованная энергия может быть использована для освещения и для зарядки аккумуляторов.

Уникальность проекта состоит в том, что данная установка сокращает, а впоследствии и минимизирует потребление электричества, предоставляемого центральными организациями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тесла Н. Патенты – Самара, 2009 – 496 с.
2. Касьянов Г.Т. Получение электроэнергии из атмосферы с помощью антенны и приемника // Успехи современного естествознания. – 2013. – №1. – с. 125-128.
3. Стребков Д.С., Каторгин Р. К. Патент № 2517378, резонансный усилитель мощности.

Научный руководитель: Н.М. Балахонов, инженер кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ В СИСТЕМЕ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Ю.Н. Половинкина, Ю.Л. Шаненкова
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ6К

Электрическим контактом обычно называют соединение двух проводников, при котором обеспечивается надежное прохождение электрического тока. Электрический контакт должен передавать энергию электрического тока от одной электроустановки к другой без заметных потерь [1]. Высокую надежность таких соединений можно достичь лишь при применении однородных материалов, таких как медь-медь, сталь-сталь, алюминий-алюминий. К сожалению, такие материалы обладают неким уровнем окисляемости, поэтому при взаимодействии с кислородом, влагой и другими факторами в месте соединения образуется оксидная плёнка, обладающая большим сопротивлением. К тому же, при применении разнородных материалов, например, медь-алюминий, идет дополнительно электрохимическое окисление [2]. Всё это приводит к увеличению потерь электроэнергии.

На сегодняшний день существует множество способов по совмещению разнородных материалов, в частности, меди и алюминия, однако каждый из них обладает рядом недостатков. К примеру, при применении биметаллических пластин происходит рост контактных переходов, ввиду чего увеличивается переходное контактное сопротивление. Электропроводящие смазки обладают низкой стоимостью, просто в применении, позволяют увеличить токопередачу, но быстро становятся непригодными для многократного использования ввиду резкого ухудшения качества смазки. В нашей работе предлагается совмещать медь и алюминий в системе коаксиального магнитоплазменного ускорителя посредством нанесения медных покрытий на различные алюминиевые поверхности. Данный способ является очень перспективным, т.к. обладает высоким быстродействием, безопасен, экологичен, и, самое главное, позволяет снизить величину переходного контактного сопротивления в месте перехода контактных элементов.

Нанесение медных покрытий на алюминиевые поверхности осуществлялось в системе, базовым элементом которого является импульсный высокотоковый коаксиальный магнитоплазменный ускоритель [3]. Были проведены опыты по нанесению покрытий на основе меди на различные алюминиевые подложки и конструкции в системе коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Фотографии полученных покрытий представлены на рисунке 1. По результатам опытов можно сказать, что покрытия получились высококачественными: достаточно высокая плотность меди на поверхностях и отсутствуют места прогаров. Также было установлено, что таким методом возможно получать покрытия до 200 см². По фотографиям полученных образцов стоит отметить, что возможно получения покрытия на электротехнических контактных элементах.

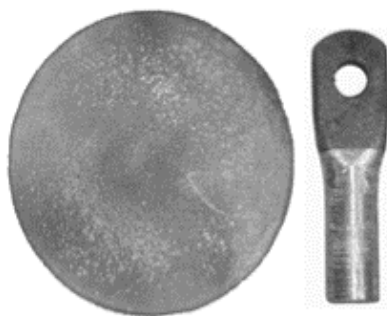


Рис. 1. Фотографии полученных медных покрытий на алюминиевых подложках и электротехнических изделиях

Толщина покрытий исследовалась методом оптической металлографической микроскопии, при помощи микроскопа Olympus GX-71. Было установлено, что для всех образцов толщина покрытия варьируется от 50 до 100 мкм. Как видно из рисунка 2, покрытия, получаемые данным способом, достаточно равномерные, полностью повторяют неровности и изгибы алюминиевой подложки. Это приводит к тому, что видимая граница раздела отсутствует полностью и таким образом обеспечивается плотное прилегание покрытия.

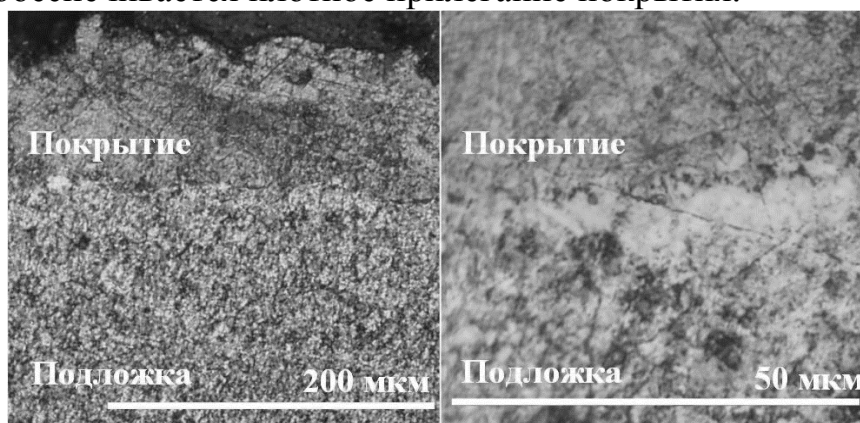


Рис. 2. и микрофотография Фотография полученных медных покрытий на плоских алюминиевых подложках шлифов поперечного среза образца, полученного при расстоянии до мишени 225 мм

Главным же показателем качества полученных покрытий является низкая величина переходного контактного сопротивления, поэтому была подготовлена

установка для проведения измерений этих величин. Измерения проводились для 3 контактных пар, таких как медь-медь Cu-Cu, медь-алюминий Cu-Al, медь-алюминий с медным покрытием Cu-Al_{Cu}.

На рисунке 3 показан график зависимости удельного переходного контактного сопротивления от момента усилия сжатия. Из полученных результатов следует, что величина контактного сопротивления падает с ростом момента усилия сжатия ввиду того, что увеличивается площадь касания контактов за счет смятия выступов, присутствующих на поверхности контактных пар.

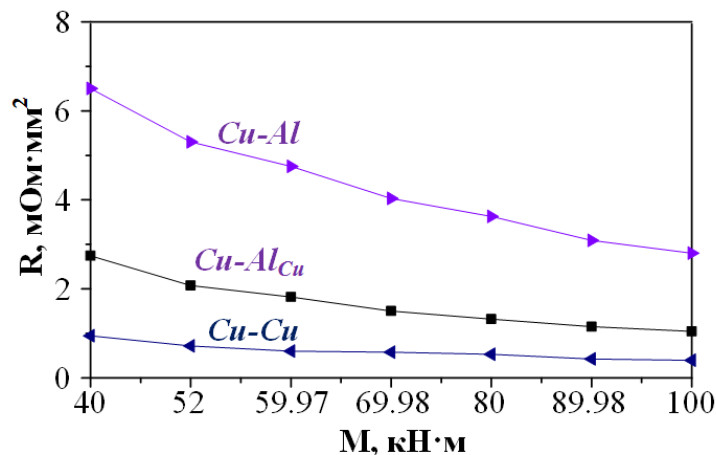


Рис. 3. Зависимость удельного переходного контактного сопротивления от усилия сжатия

Также проведенные исследования показали, что при непосредственном соединении меди с алюминием переходное контактное сопротивление приблизительно в 7 раз превышает величину сопротивления, получаемого при соединении меди с медью. Такое соотношение наблюдается при всех исследованных усилиях сжатия.

Стоит отметить, что исследование полученных контактных пар медь-алюминий с медным покрытием показало возможность уменьшения переходного сопротивления вплоть до ~ 2.8 раз относительно непосредственного соединения меди с алюминием при максимальном усилии сжатия.

Переходное контактное сопротивление было рассчитано по методике [4] – в результате было получено величина, равная $0,7 \text{ мОм} \cdot \text{мм}^2$. Данное значение отличается от значения, полученного вольтамперным методом ($1 \text{ мОм} \cdot \text{мм}^2$). Это связано с ошибками различных методов и погрешностями измерений.

На конкретном примере было рассмотрено влияние контактного сопротивления на величину отклонения напряжения. В качестве реального электроэнергетического объекта был принят магистральный шинопровод ШМА-5 сборочного цеха ОАО «Томский электроламповый завод», выполненный из алюминия, с большим количеством болтовых соединений, что является основным объектом электрических сетей, для которых возможно использование нанесения медных покрытий.

На рисунке 4 построены эпюры отклонения напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприемника для режима максимальных нагрузок, с учетом нанесения медного покрытия и без.

Результаты показали, что при использовании предложенной методики размах отклонения уменьшается, что способствует увеличению диапазона напряжения, на котором может работать данная часть энергосистемы. Также в ходе расчетов получено, что при использовании такой технологии возможно достигнуть экономии электроэнергии до 50% на контактных элементах.

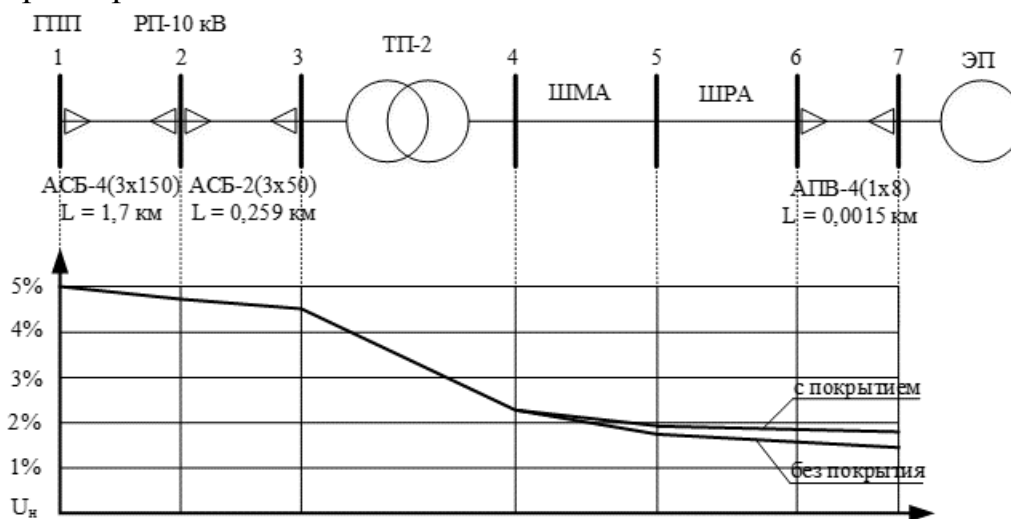


Рис. 4. Эпюры отклонения напряжения с использованием контактных Cu-Al и Cu-Al_{Cu}

В завершении хотелось бы отметить, что в работе представлены результаты по совмещению разнородных материалов, в частности, меди и алюминия, широко применяющихся в электроэнергетике, плазмодинамическим методом. Данный метод позволяет получать покрытия с толщиной до 100 мкм и площадью до 200 см². Достоинствами таких покрытий являются относительно низкое удельное переходное контактное сопротивление и снижение потерь электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Масанов Б.М. Присоединение проводников к контактным выводам электрооборудования. – Москва: Энергия, 1969. – 26 с.
2. Комаров А.А., Яковлев В.Н. Электрические контакты. Учебно-методическое пособие по дисциплине “Тяговые и трансформаторные подстанции для студентов специализаций: 101801 – “Электроснабжение железных дорог” и 101802 – “Компьютерные технологии в электроснабжении”. – Самара: СамИИТ, 2001. – 51 с.
3. Половинкина Ю. Н., Шаненкова Ю. Л., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1: Физика. — С. 229-231.
4. Н.Н. Дзекцер, В.В. Измайлов, Е.В. Николаева. Определение электрического сопротивления неподвижных контактных соединений // Изве-

ствия высших учебных заведений. Электромеханика. – № 9. – 1986. – С. 87-93.

Научный руководитель: А.С. Ивашутенко, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

М.С. Тощевикова, А.Г. Баннов

Новосибирский государственный технический университет

Одним из важных и актуальных направлений в современной энергетике является возобновляемая энергия. Применение суперконденсаторов в возобновляемой энергетике актуально в силу её изначальной нестабильности, особенно, когда речь идёт о ветрогенераторах или солнечных батареях. Для обеспечения требуемого потребителями качества и стабильности объёмов генерируемой электроэнергии требуется проводить дорогостоящие мероприятия. Применение в данном случае суперконденсаторов становится эффективной альтернативой традиционным решениям.

Электрохимические конденсаторы, или суперконденсаторы (СК) – это электрохимические приборы, в которых происходят квазиоборотные электрохимические зарядно-разрядные процессы [1]. СК представляют собой эффективные и экологически чистые источники энергии. Они состоят из электродов, которые разделены сепаратором и помещены в герметичный корпус. Внутренняя среда суперконденсатора заполняется электролитом. В большинстве случаев электролит представлен водным раствором KOH или H₂SO₄. Электроды изготавливаются из пористых материалов с развитой внутренней поверхностью.

В качестве электродного материала применяют высокодисперсный углерод. Данный материал имеет развитую удельную поверхность, которая достигает сотни и даже тысячи м²/г, и отличаются хорошей электропроводимостью. Высокодисперсный углерод зачастую представлен в виде сажи, активированных углей и нанопористых углеродных материалов.

В данной работе для создания углеродного электрода для суперконденсатора применяют нанокпозиционные материалы, в состав которых входит терморасширенный графит, нановолокнистый и активированный углерод [2].

Терморасширенный графит (ТРГ) представляет собой углеродный материал, который характеризуется низкой плотностью, наличием в основном макро- и мезопор. ТРГ отличается высокими значениями ёмкости в связи с высокой удельной поверхностью (300-350 м²/г), что предопределяет использование данных материалов в качестве электродных [3].

Нановолокнистый углерод (НВУ) представляет собой гранулы, которые образованы переплетенными между собой углеродными нановолокнами со структурой вложенных конусов. Удельная поверхность используемого НВУ составляет 100 м²/г. Широкий комплекс интересных свойств, таких как высокая

прочность, высокая электро- и теплопроводность, позволяет применять данную разновидность углеродного материала в качестве наполнителей для полимерных композиционных материалов электрохимических датчиков, электродных материалов для суперконденсаторов и др. [4].

Активированный углерод (АУ) – углерод полученный из рисовой лузги, путём её контролируемого сжигания. Зола представляет собой очень мягкий материал и легко размельчается до размера менее 45 мкм. После сжигания полученную золу подвергают последующей обработке кислородсодержащими соединениями [5]. Удельная поверхность используемой золы составила 132 м²/г.

В данной научно-исследовательской работе рассматривались композиционные материалы состава: Ni/НВУ, Ni/ТРГ, Ni/АУ, АУ/ТРГ. Экспериментально установлено, что удельная ёмкость для исходных углеродных материалов составила: ТРГ – 57 Ф/г, НВУ – 9 Ф/г и АУ – 36-53 Ф/г. Стоит отметить, что ёмкость данных материалов может быть значительно повышена за счет нанесения наночастиц металлов.

В рамках эксперимента на НВУ, ТРГ и АУ были нанесены частицы никеля, с целью повышения удельной ёмкости. Нанесение частиц металлического никеля проводилось путём пропитки углеродного материала водным раствором соли никеля в заданном соотношении. Далее образец высушивался и восстанавливался в среде водорода.

Композиты исследовались на удельную поверхность методом низкотемпературной адсорбции азота на установке Quantachrome NOVA 1000e. Проводились исследования на удельную ёмкость при помощи установки Elins P-30SM в трёхэлектродной ячейке. В роли электролита выступал водный раствор серной кислоты.

Установлено, что удельная ёмкость композита Ni/ТРГ при скорости развёртки 2 мВ/с достигает 116 Ф/г, для композита Ni/НВУ – 16 Ф/г, а для Ni/АУ – 10 Ф/г при той же скорости развёртки. Удельная поверхность композитов составляет 42, 17 и 49 м²/г соответственно.

С помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) (рисунок 1) установили, что нанесение никеля равномерное. Размер частиц никеля варьировался от 20 до 40 нм. На рисунке белыми включениями представлены частицы никеля, а тёмным – слой углеродного материала.

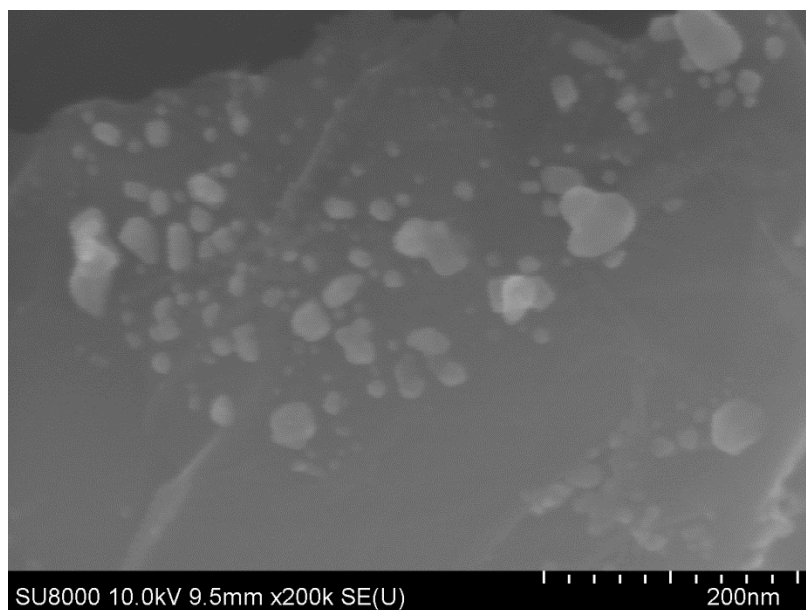


Рис. 1. Снимок РЭМ образца Ni/TRГ

Известно, что удельную ёмкость материалов можно увеличить путём модификации углеродного порошка азотной кислотой и механоактивацией. В рамках данного эксперимента был приготовлен опытный образец состава ТРГ/АУ. Композит обработали азотной кислотой. Половину от полученного порошка подвергли механоактивации.

В результате модификации в полученном углеродном материале отмечен рост удельной поверхности и увеличение доли микропор, что является весомым вкладом в повышение удельной ёмкости. Композиционный материал характеризуется следующими данными: после обработки азотной кислотой удельная поверхность составила $45 \text{ м}^2/\text{г}$, удельная ёмкость 128 Ф/г ; после механоактивации удельная поверхность – $155 \text{ м}^2/\text{г}$, удельная ёмкость – 90 Ф/г .

Все проведённые модификации углеродных материалов положительно повлияли на их свойства, и полученные данные предопределяют использование представленных композитов в качестве электродного материала для суперконденсаторов.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ, проект № СП-69.2016.1, а также является частью работы, выполненной в рамках программы стратегического развития НГТУ на 2017 год, шифр проекта С-13.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Conway B.E. Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers, 1999. – 685p.
2. Рево С.Л., Будзуляк И.М., Рачий Б.И., Кузишин М.М. // Электронная обработка материалов. – 2013. – Т.49, N 1. – С. 71–75.
3. Shibaev A.A., Yusin S.I., Maksimovskii E.A., Ukhina A.V., Bannov A.G. // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2016. – Vol. 89, iss. 5. – P. 739–745.

4. Баннов А.Г., Уваров Н.Ф., Кувшинов Г.Г., Прокопчук Н.Р., Крутько Э.Т., Шашок Ж.С., Вишневский К.В. // Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – N 4. – С. 31–34.
5. Нгуен Мань Хиеу, Коробочкин В.В. // «SCI-ARTICLE.RU»: электрон.научн.журн. – 2014. – N 12.

Научный руководитель: М.В. Попов, старший преподаватель, инженер НГТУ.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРЯМОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ЦИНКА ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.И. Циммерман, Ю.Л. Шаненкова, М.И. Гуков
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5А4Д

В последние годы перспективы использования различных функциональных материалов связаны с их уникальными особенностями в нанодисперсном состоянии. Оксид цинка, обладающий набором уникальных характеристик, можно отнести к таким материалам. Помимо уже известных областей его применения (медицина, фармацевтика, электроэнергетика, нефтеперерабатывающая промышленность), он имеет потенциал использования как фотокатализатора для получения водорода. Данное направление в настоящее время весьма перспективно ввиду перехода на чистую энергетику, поэтому получение и исследование является актуальной научной задачей [1, 2]. Кроме того, оксид цинка применяют при производстве стекла и керамики, а также ZnO является полупроводником n-типа благодаря монокристаллической структуре частиц, что позволяет на его основе изготавливать варисторы, которые используются в современных ограничителях перенапряжения (ОПН) [3, 4].

Существует множество способов получения оксида цинка: химический, гидротермальный, термический и др. [3-5]. Данные методы обладают рядом недостатков: высокая стоимость, продолжительный процесс получения. Также эти методы не позволяют получить достаточно качественный продукт, который имел бы необходимую структуру. Высокодисперсное монокристаллическое состояние может быть получено при кристаллизации из жидкой фазы с высокой скоростью закалки материала в условиях сверхзвукового распыления в газообразной атмосфере [6, 7]. Такие условия можно получить при реализации плазмодинамического метода на основе импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа (КМПУ) [8].

В отличие от сложных химических методов, плазмодинамический метод обеспечивает в одном кратковременном цикле работы КМПУ (до 10^{-3} с)работку основного прекурсора – цинка, прямой синтез оксида цинка при взаимодействии с ионизированным кислородом, сверхзвуковое распыление жидкой фазы ZnO и его сверхбыструю кристаллизацию в газообразной кислородной

среде. В результате плазмохимической реакции синтезируется нанопорошок, сбор которого осуществляется через некоторое время после окончания рабочего цикла. Цель данной работы – показать принципиальную возможность реализации процесса плазмодинамического синтеза ультрадисперсного оксида цинка. Для этого была проведена серия экспериментов, в ходе которой были получены образцы продукта. Анализ синтезированного таким образом порошка осуществлялся с помощью аналитических методик, включающих рентгеновскую дифрактометрию и просвечивающую электронную микроскопию.

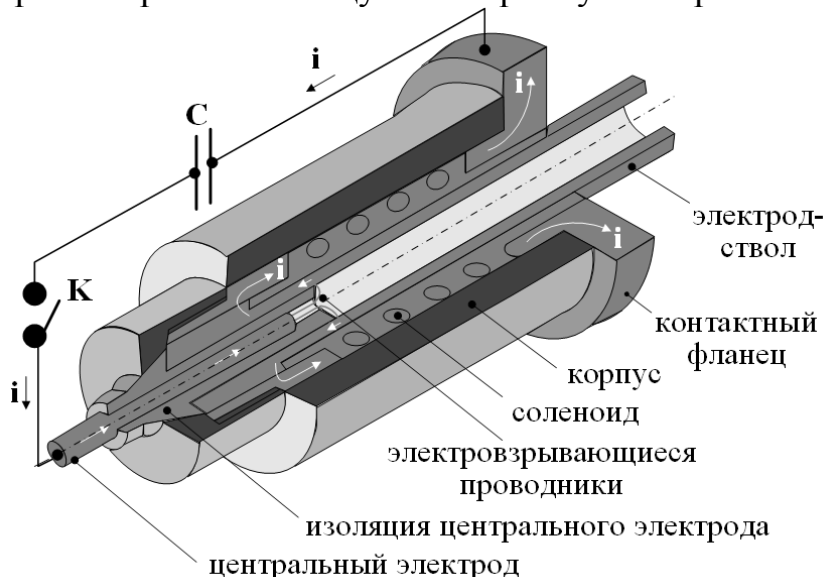


Рис. 1. Схема и принцип действия КМПУ

На рисунке 2 представлена типичная рентгеновская дифрактограмма порошка, синтезированного при истечении плазменной струи в камеру-реактор, заполненную на 100% кислородом. Представленные данные были получены с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 7000S с Cu- α излучением. Расшифровка XRD-картины проведена с помощью программы Search-Match и базы структурных данных PDF-2. В результате расшифровки была идентифицирована фаза оксида цинка ZnO с номером карточки 36-1451, гексагональной сингонии, пространственной группы SG P63mc.

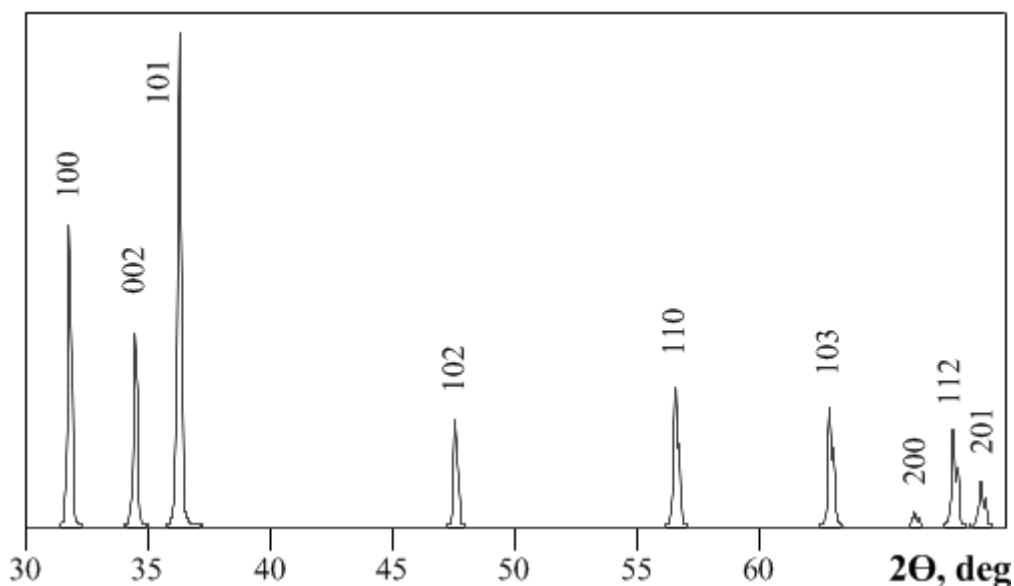


Рис. 2. Типичная XRD-картина синтезированного материала

При расшифровке данных просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ), приведенных на рисунке 3, монокристаллическое строение частиц становится очевидным. Высокая плотность частиц ZnO ($\rho=5,61 \text{ г/см}^3$) позволила получить светлопольный ТЕМ-снимок хорошего качества на микроскопе Philips CM-12. На рисунках видно, что размер частиц варьируется в пределах от 10 нм до 400 нм. Одной из причин этого является импульсный характер плазmodинамического процесса, в течение которого некоторые параметры системы изменяются в очень широких пределах, например, ток электропитания ускорителя, параметры электроразрядной плазмы и ее истечения из ускорительного канала. Ограники практически всех частиц представляют собой правильные прямоугольники и шестигранники.

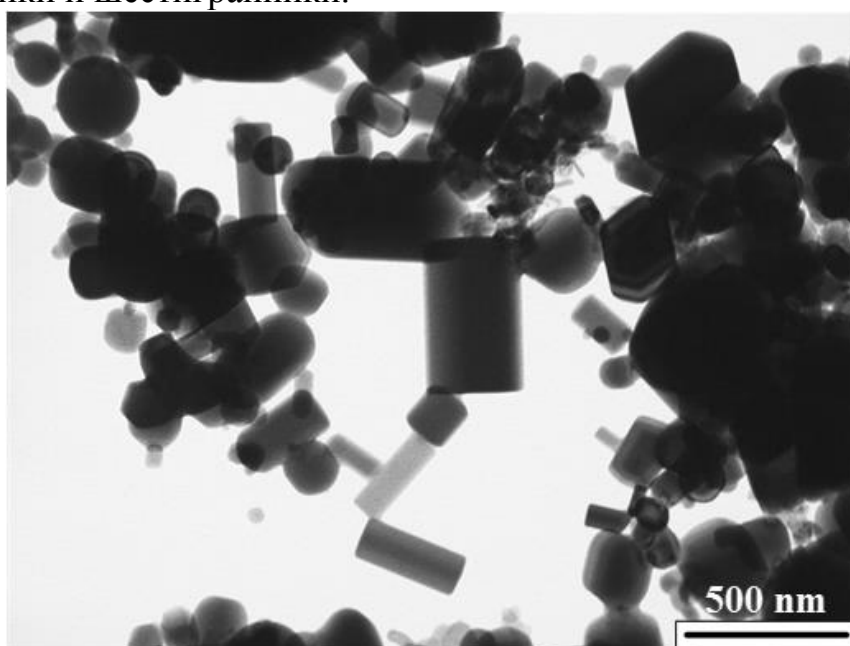


Рис. 3. Светлопольный ТЕМ-снимок синтезированного материала

По совокупности всех имеющихся светлопольных микроснимков (выборка объектов ~ 1000) проведен анализ размеров частиц и построена гистограмма

их распределения по размеру (рисунок 4). По полученной гистограмме можно определить, что размер частиц достигает 350 нм, но большинство из них (85%) имеют размер менее 150 нм.

В результате проведенных исследований было установлено, что оксид цинка с монокристаллической структурой частиц может быть синтезирован с помощью плазмохимического метода с использованием коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Этот метод позволяет получать ультрадисперсный порошок ZnO в течение одного короткого цикла с длительностью до 1 мс. С использованием данных рентгенофазового анализа, было установлено, что продукт имеет структуру гексагонального оксида цинка. Это подтверждается также данным просвечивающей электронной микроскопии, на которой четко видны кристаллы в форме правильных прямоугольников и шестигранников. По полученной гистограмме распределения частиц по размеру определено, что большинство частиц (85%) имеют размер менее 150 нм. Таким образом, предложенный метод может быть использован в качестве альтернативного для получения чистого гексагонального оксида цинка, причем преимуществами в данном случае будут являться: простота (один рабочий цикл), быстроедействие (менее 1 мс) и высокая чистота получаемого продукта. В дальнейшем предполагается провести исследование синтезированного продукта на каталитическую активность.

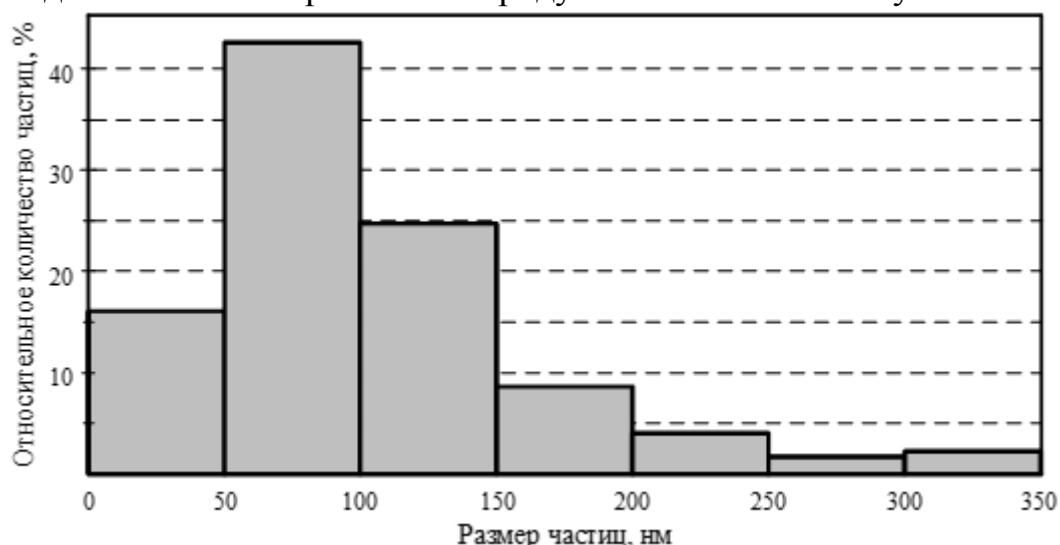


Рис. 4. Распределение частиц по размеру

ЛИТЕРАТУРА:

1. Raula M. et al. Ascorbate-assisted growth of hierarchical ZnO nanostructures: sphere, spindle, and flower and their catalytic properties // *Langmuir*. – 2010. – Т. 26. – №. 11. – С. 8769-8782.
2. Agrell J. et al. Production of hydrogen from methanol over Cu/ZnO catalysts promoted by ZrO₂ and Al₂O₃ // *Journal of Catalysis*. – 2003. – Т. 219. – №. 2. – С. 389-403.
3. Sazonov R. et al. Plasma-chemical synthesis of composite nanodispersed oxides // *J. Korean Phys. Soc.* – 2011. – Т. 59. – №. 6. – С. 3508-3512.

4. Nolan N. T. Sol-Gel Synthesis and Characterisation of Novel Metal Oxide Nanomaterials for Photocatalytic Applications. – 2010.
5. Djurisić A. B. et al. ZnO nanostructures: growth, properties and applications // Journal of Materials Chemistry. – 2012. – Т. 22. – №. 14. – С. 6526-6535.
6. Sivkov A. et al. Plasma dynamic synthesis and obtaining ultradispersed zinc oxide with single-crystalline particle structure // Advanced Powder Technology. – 2016. – Т. 27. – №. 4. – С. 1506-1513.
7. Shanenkov I.I., Pak A.Ya., Sivkov A.A., Shanenkova Yu.L. Energy efficiency of electric pulse installation based on a high-current plasma accelerator // MATEC Web of Conferences. – 2014. – Vol. 19. – art. no. 01030
8. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ОЦЕНКА АБСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОШКА ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

М.И. Гуков, И.И. Шаненков, А.И. Циммерман
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5А4Д

Введение

Электромагнитные волны гигагерцового диапазона широко распространены в системах беспроводной связи, компьютерах и различном электронном оборудовании. Тем не менее, проблемы электромагнитной совместимости серьезно ограничивают их дальнейшее развитие [1,2]. Согласно теории потерь электромагнитных волн, возможным способом решения таких проблем является разработка высокоэффективных поглощающих материалов. Большое внимание привлекают материалы на основе ферритов, отличающиеся высокими электромагнитными потерями [3,4]. Известно, что величина магнитной проницаемости пропорциональна значению намагниченности насыщения (НН), поэтому магнетит со структурой шпинели, обладающий максимальным значением НН среди ферритов при комнатной температуре и высоким значением температуры Кюри, можно рассматривать как один из наиболее перспективных материалов для разработки радиопоглощающих материалов и покрытий. Известно, что ферритовые поглотители, могут иметь хорошие абсорбционные характеристики для поглощения микроволнового излучения [5]. В этом исследовании порошок оксида железа с преимущественным содержанием магнетита Fe_3O_4 был успешно изготовлен методом плазмодинамического синтеза. Данный метод обладает следующими преимуществами: высокая скорость протекания реакции, низкие энергозатраты, высокие достигаемые энергетические параметры в процессе

синтеза и высокая скорость охлаждения, в системе на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [6], разработанного в НИ ТПУ.

Синтез порошка и его обработка

Система, используемая для синтеза порошка с высоким содержанием магнетита, включает в себя емкостной накопитель энергии, КМПУ, камеру-реактор, газовую среду. Энергетические параметры, которыми обладает емкостной накопитель, следующие: $U_{зар}$ до 5 кВ, а $C_{зар}$ до 28,8 мФ [7]. Состав КМПУ: Z-пинч ускоритель с железными электродами и внешняя индуктивная система.

Принцип работы системы заключается в следующем. После замыкания силовых ключей в цепи разряда накопителя происходит рост межэлектродного напряжения, происходит пробой промежутка между железными электродами и образование дугового разряда. Под влиянием собственного и внешнего магнитных полей плазменный разряд ускоряется силами кондукционной и индукционной электродинамики. Необходимый материал нарабатывается с поверхности железного ускорительного канала и вовлекается в движение плазмы, а затем выносится в пространство камеры-реактора. Динамический синтез происходит в скачке уплотнения головной ударной волны, в который поступает эродированный материал (железо) и встречно диффундирует газ среды камеры-реактора (кислород). Формирование кристаллической структуры и диспергирование синтезированного материала происходит при его распылении с границы ударной волны. Высокая скорость охлаждения, порядка 10^8 К/с, осуществляется за счет взаимодействия синтезированного материала с атмосферой камеры-реактора.

Для реализации эксперимента по получению порошка с высоким содержанием частиц фазы Fe_3O_4 с использованием газообразного прекурсора были выбраны следующие энергетические параметры: $U_{зар} = 2,5$ кВ, $C_{зар} = 14,4$ мФ. Газообразный прекурсор (кислород) закачивался в предварительно вакуумированную камеру-реактор (1 атм.). Выход продукта при отмеченных выше условиях составил около 5 г за один рабочий цикл, продолжительность которого составила около 500 мкс.

Синтезированный порошкообразный продукт был исследован методом рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S. Из рентгеновской дифрактограммы полученного продукта (рисунок 1а) видно, что продукт является многофазным и состоит из трех фаз (Fe_3O_4 , α - Fe_2O_3 и ϵ - Fe_2O_3), из которых наибольшими интенсивностями пиков обладают фазы магнетита и гематита (α - Fe_2O_3), а интенсивность рефлексов эпсилон фазы является достаточно низкой.

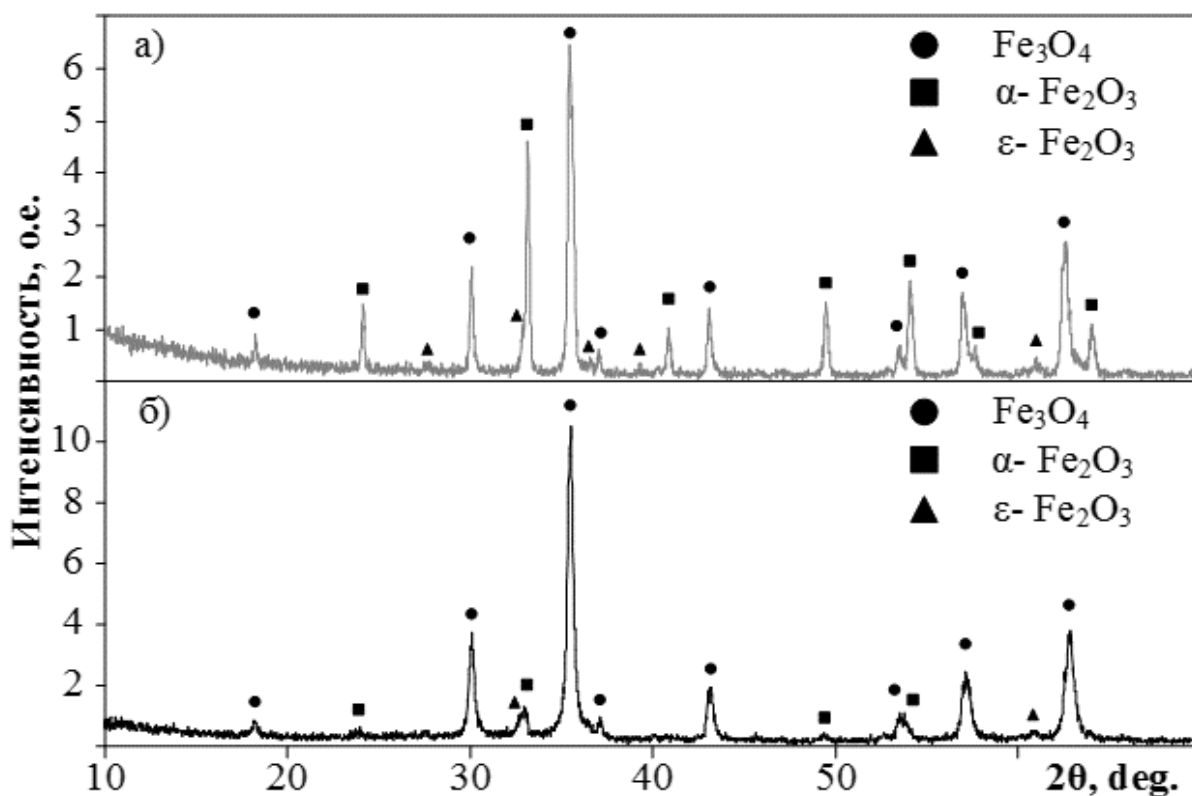


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы полученного порошка до (а) и после (б) предварительной обработки

С целью получения наиболее чистого продукта (с точки зрения выхода магнетита), синтезированный порошок дополнительно очищали от примесных фаз. Принцип очистки основывался на разностных магнитных свойствах различных фаз оксида железа в синтезированном продукте. Поэтому синтезированный порошок в форме суспензии с пропанолом сначала помещали в ультразвуковую ванночку Ultrasonic Cleaner 50 Вт и подвергали ультразвуковому диспергированию на протяжении 30 минут. Затем суспензию со взвешенными частицами декантировали через стеклянный сосуд, помещенный внутри торoidalного постоянного магнита на основе соединения NdFeB. Частицы, обладающие наивысшей намагниченностью (частицы фазы магнетита), оседали на стенках сосуда. Повторяя процесс декантации несколько раз, просеивание магнитных частиц продолжалось до полного разделения. Сбор порошка производился со стенок сосуда в отсутствии магнитного поля. Затем собранный порошок был повторно исследован методом рентгеновской дифрактометрии. Сравнение рентгеновских дифрактограмм полученного порошка без предварительной обработки (а) и порошка, прошедшего вышеописанную процедуру (б) (рисунок 1б), показало, что проведенная процедура над порошком привела к существенному снижению интенсивности рефлексов эпсилон и альфа фаз. Эти данные подтверждаются результатами оценки количественно-фазового состава, которая проводилась с помощью полученных рентгеновских дифрактограмм в программной среде «PowderCell 2.4» с использованием базы данных PDF 2+. Приблизительное процентное содержание фаз в порошках: а) Fe_3O_4 – 60,2%, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 19,6%, $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 20,2% и б) Fe_3O_4 – 80,6%, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 16,2%, $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 3,2%.

Изготовление образца и оценка его абсорбционной способности

Для исследования зависимости потерь на отражение электромагнитных волн от их частот обработанный порошок помещали в эпоксидное соединение в пропорции 1:1 по массе с эпоксидной смолой и выдерживали сутки до полного затвердевания. Затем полученный образец был помещен в коаксиальный волновод, а также был подвергнут облучению электромагнитными волнами различного диапазона частот (0,1 – 18 ГГц). Значения потерь на отражение измерялись с использованием анализатора СВЧ-сигналов Agilent N5247A. Далее по полученным значениям строился график (рисунок 2), из которого видно, что образец обладает хорошей абсорбционной способностью с эффективной полосой поглощения (потери на отражение ≤ -10 дБ) в диапазоне частот от 3,7 до 15,6 ГГц, а наибольших потерь на отражение (-36,2 дБ) образец достигает при частоте электромагнитных волн 8,2 ГГц.

Заключение

Согласно результатам проведенных исследований, можно сделать вывод, что образец, изготовленный на основе обработанного порошка с высоким содержанием фазы магнетита (порядка 80%), синтезированного плазмодинамическим методом в системе на базе КМПУ, обладает достаточно высокой абсорбционной способностью с эффективной полосой поглощения (потери на отражение ≤ -10 дБ) при частоте от 3,7 до 15,6 ГГц. Наибольших потерь на отражение (-36,2 дБ) полученный образец достигает при частоте облучающих электромагнитных волн равной 8,2 ГГц.

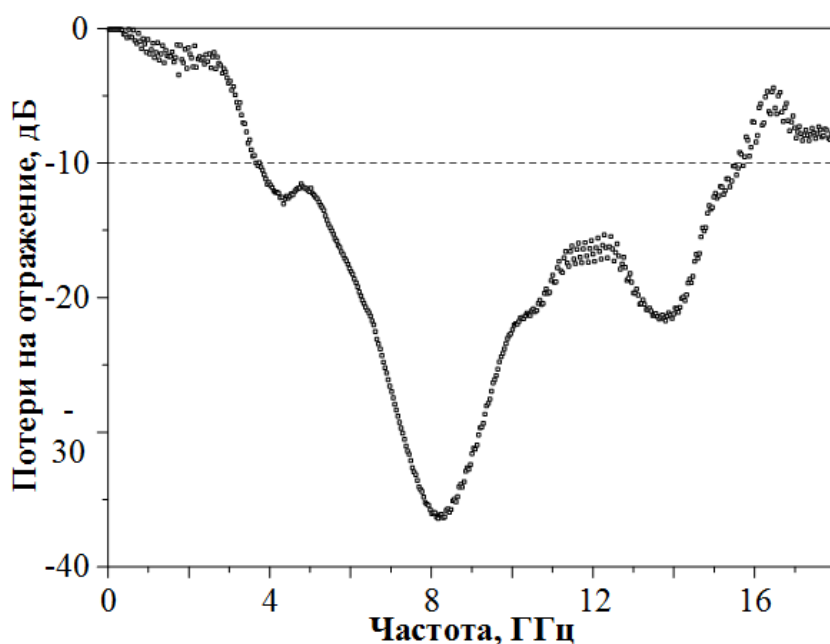


Рис. 2. График зависимости потерь на отражение электромагнитных волн от их частот

ЛИТЕРАТУРА:

1. Wang G. et al. Electromagnetic properties of carbon black and barium titanate composite materials //Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – Vol. 454. – №. 1. – pp. 340-346.
2. Meena R. S., Bhattacharya S., Chatterjee R. Development of “tuned microwave absorbers” using U-type hexaferrite //Materials & design. – 2010. – Vol. 31. – №. 7. – pp. 3220-3226.
3. Zou Z. et al. Preparation of Fe₃O₄ particles from copper/iron ore cinder and their microwave absorption properties //Chemical Engineering Science. – 2010. – Vol. 65. – №. 1. – pp. 160-164.
4. Kurlyandskaya G. V. et al. Field-induced microwave absorption in Fe₃O₄ nanoparticles and Fe₃O₄/polyaniline composites synthesized by different methods //Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2007. – Vol. 68. – №. 8. – pp. 1527-1532.
5. Qing X. et al. Facile synthesis of size-tunable, multilevel nanoporous Fe₃O₄ microspheres for application in electromagnetic wave absorption //Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Vol. 595. – pp. 131-137.
6. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Бюл. № 4. – 6 с.
7. Pak A. et al. Synthesis of ultrafine cubic tungsten carbide in a discharge plasma jet //International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2015. – Vol. 48. – pp. 51-55.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор, каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

И.И. Шаненков, Е.С. Хаскова
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

Введение

Российская Федерация занимает значительную территорию 17,125,191 км², и достижение повсеместного централизованного электроснабжения является нереализуемой задачей. Автономное электроснабжение отдаленных поселков и регионов может являться альтернативой в вопросах решения проблемы обеспечения населения тепловой и электрической энергий. Автономные источники энергии, как известно, могут быть реализованы на базе возобновляемых ресурсов таких как: солнечный свет, ветер, водные потоки, приливы, геотермальная теплота и энергия, полученная путем сжигания биомасс [1]. Согласно

генеральной стратегии развития энергетики, к 2035 году планируется увеличение генерирующих мощностей на базе возобновляемых источников энергии до 20 раз [2]. В связи с этим необходимо проведение поисковых исследований для определения наиболее оптимальных путей автономного электроснабжения в отдельных районах. Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является водородная энергетика. Возможность использования практически неисчерпаемого запаса воды и возобновляемого источника энергии солнца для получения электрической энергии, объясняет повышенный интерес к водородной энергетике.

Однако, в данном направлении существуют три основные проблемы: генерация водорода (поиск эффективных катализаторов), транспортировка и хранение (поиск высокочемических материалов) и получение энергии из водорода (топливные элементы). Поиск высокоэффективных фотокатализаторов, способных генерировать водород из воды под воздействием солнечного света является одной из основных задач научно-исследовательских групп по всему миру [3]. Среди таких каталитически активных материалов выделяются оксиды железа, получение и использование которых все так же актуально, в частности благодаря их высокой каталитической активности, химической и фотоэлектрохимической стабильности и низкой стоимости. Среди известных фаз оксида железа наиболее перспективной является гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), который имеет хорошие перспективы для использования в качестве фотокатализатора из-за ширины запрещенной зоны, равной 2,3 эВ [4].

Ранее было показано, что α -фазу оксида железа возможно синтезировать плазмодинамическим методом, в основе которого лежит применение коаксиального магнитоплазменного ускорителя [5]. В данной работе рассмотрены вопросы получения порошкообразного оксида железа и исследование его фотокаталитических свойств без какой-либо предварительной очистки или обработки.

Экспериментальная часть

Принцип работы системы на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя был подробно рассмотрен ранее [5]. Основная идея заключается во взаимодействии железосодержащей плазмы со средой заполненной смесью, содержащей кислород и аргон в различном соотношении. Кислород является вторым необходимым прекурсором плазмохимической реакции. В ходе проведения пробной серии экспериментов основные параметры системы оставались неизменными: зарядное напряжение $U_{\text{зар}}=3,0$ кВ, зарядная емкость $C_{\text{зар}}=14,4$ мФ, тип газового прекурсора – кислород, давление – атмосферное. В результате проведения данных экспериментов были получены порошкообразные образцы, которые без предварительной обработки исследовались методом рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S. Оценка количественно-фазового состава проводилась с помощью полученных рентгеновских дифрактограмм в программной среде «PowderCell 2.4» с использованием базы данных PDF 2+.

Полученные порошки использовались для изготовления электродов при проведении фотокаталитических исследований. Процедура приготовления была следующей. В мерном стакане смешивали 0,02 г порошка оксида железа, 2 ша-

рика йода и ацетон (20-30 мл). Данную суспензию помещали в ультразвуковую ванну на 20 минут. Стекло FTO (легированный фтором оксид олова) в форме прямоугольника со сторонами 3 см × 1,5 см, которое с одной стороны имеет проводящий слой, а с другой нет, очищали в изопропиловом спирте в ультразвуковой ванне в течение 10 минут до полного удаления всех примесей. Далее на проводящий слой FTO стекла наносили порошок из суспензии путем электрофоретического осаждения по схеме указанной на рисунке 2а. Для этого использовался регулируемый источник энергии (# ATTEN TPR30105 U 0-20 V I 0-10 A). Параметры источника были следующими U = 20 В. I=0 А. Процесс осаждения продолжался приблизительно 1 мин, после чего суспензия вновь подвергалась ультразвуковой обработке в течении 1 мин, и повторно наносился слой порошка. Данная процедура повторялась 5 раз. Полученные на FTO стеклах покрытия аккуратно счищали так, чтобы получить квадрат с площадью 1 см². После проведения данной процедуры стекла с покрытием помещали в атмосферную печь и грели до 300 °C в течение 60 мин. (скорость нагрева - 5 °C/мин), после чего выдерживали при этой температуре в течение 2 часов. Охлаждение было естественным. После того как образец был термически обработан, проводящая поверхность на FTO стекле вокруг порошка обрабатывалась специальной смазкой, которая не проводит ток. Таким образом, получался образец стекла с нанесенным порошком площадью 1 см², который использовался для измерения фотокаталитической активности. В качестве источника света выступала ксеноновая лампа Perfect Light-SXE300C. Для регистрации фототока использовался потенциометр CHI-600E.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена типичная дифрактограмма порошка оксида железа, полученного при указанных выше параметрах. Согласно данным рентгено-фазового анализа содержание фаз в продукте было следующим: гематит (α -Fe₂O₃) – 42,3%, фаза ϵ -Fe₂O₃ – 31,7%, магнетит (Fe₃O₄) – 26,6%.

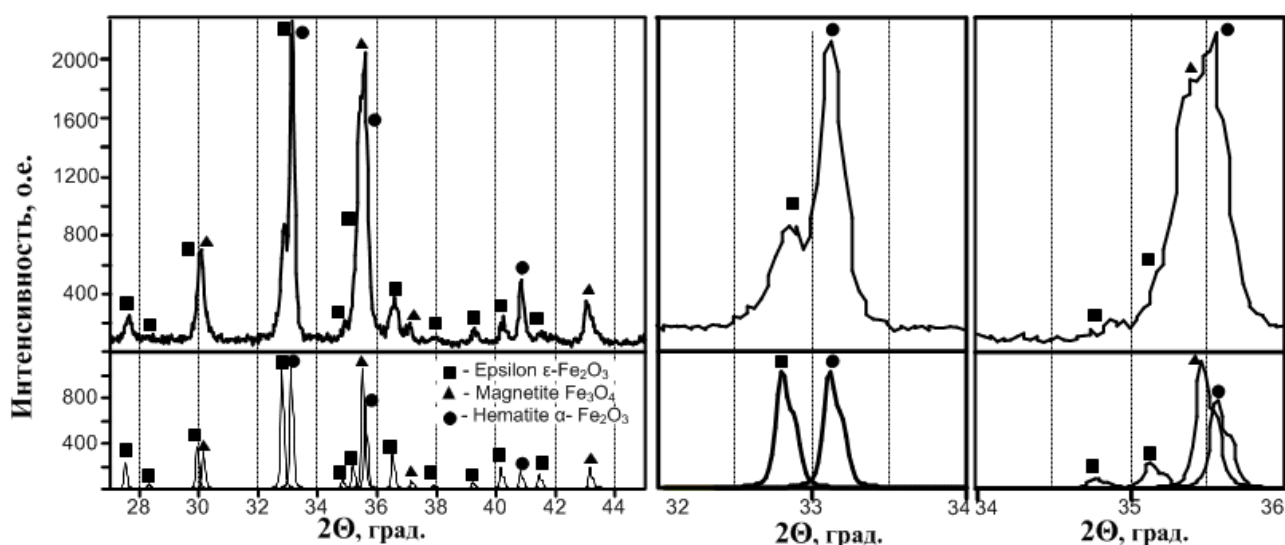


Рис. 1. Типичная дифрактограмма оксида железа, полученного плазмодинамическим синтезом

На основе полученных порошкообразных продуктов изготавливались электроды (по процедуре, описанной в экспериментальной части), которые в дальнейшем использовались для проведения исследований фотокаталитической активности образцов. Для этого применялся метод трехэлектродной ячейки, в основу которого заложено использование 3 электродов (рисунок 2б). Первый электрод – так называемый рабочий электрод (РЭ) – изготавливается по указанной выше процедуре. В качестве эталонного электрода (ЭЭ) выступал электрод Ag/AgCl. Платиновая пластина использовалась в качестве противозэлектрода (ПЭ). Процедура измерения фотокаталитической активности проводилась в одномольном растворе серной кислоты.

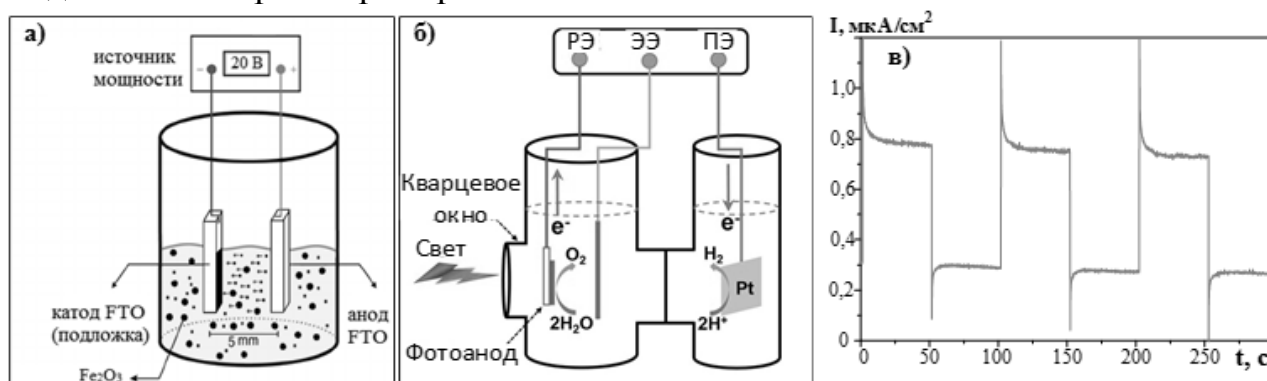


Рис. 2. Схема процесса подготовки электродов (а), процедуры измерения каталитических свойств (б) и полученные результаты для оксида железа (в)

Свет, поступающий от источника через кварцевое окно, попадая на слой, содержащий оксид железа, вызывал начало протекания реакции, в ходе которой происходило выделение кислорода на рабочем электроде и выделение водорода на платиновом противозэлектроде. Все это сопровождалось увеличением рабочего тока, вызываемым высвобождением свободных электронов и их циркуляции в цепи потенциостата. По величине данного тока можно судить о том, насколько интенсивно происходят реакции на электродах. Для наглядной визуализации результатов источник света открывался и закрывался с периодичностью раз в 50 секунд. Как видно из рисунка 2в, в моменты открытия, ток возрастал до величины $\sim 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, и был примерно равен $0,25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ в моменты закрытия затвора (так называемый «темновой» ток).

Заключение

Ультрадисперсные порошки оксидов железа и, в частности, гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) могут быть получены методом прямого плазмодинамического синтеза в системе на основе КМПУ. Синтезированные таким образом продукты были исследованы на фотокаталитическую активность методом трехэлектродной ячейки. Для этого была разработана и реализована процедура подготовки рабочего электрода, содержащего частицы порошка оксида железа. Полученные результаты позволяют утверждать, что синтезированные плазмодинамическим методом порошки оксида железа обладают фотокаталитической активностью и могут быть использованы в качестве фотокатализаторов в реакции получения водорода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фомичев В.К., Церегородцева И.В. - Использование оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии (солнца и ветре) в условиях сибирского региона // международный конгресс reenscon-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность», Сколково, 13-14 октября 2016 г. Новосибирск: изд-во ООО НПФ «Энергия», с.177-183
2. Энергетическая стратегия развития России на период до 2035 года
3. Козлова Е.А., Пармон В.Н. Гетерогенные полупроводниковые фотокатализаторы процессов получения водорода из водных растворов доноров электронов // Успехи химии. – 2017.-N 9.- С. 870-906.
4. Ahsanulhaq Qurashi , Zhonghai Zhong , Mir Wakas Alam Synthesis and photocatalytic properties of α -Fe₂O₃ nanoellipsoids // Solid State Sciences – 2010. – N12.-1516-1519.
5. Sivkov A., Naiden E., Ivashutenko A., Shanenkov I. Plasma dynamic synthesis and obtaining ultrafine powders of iron oxides with high content of ϵ -Fe₂O₃
6. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2016. V. 405. P. 158–168.

Научный руководитель: А.С. Ивашутенко, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

SPACE-BASED SOLAR POWER

A.S. Sazonov¹, Y.L. Shanenkova², I.I. Shanenkov²
National Research Tomsk Polytechnic University^{1,2}

Institute of Power Engineering, Department of Industrial Electric Power Supply,
group 5A4D¹

Today our community think about how to solve the energy problem. A large part of the energy sources will end in the near future, and one of the best renewable sources is a Space-based solar power. Every hour, more solar energy reaches the Earth than humans use in a year [1].

Space-based Solar Power (SBSP) collects energy from sunlight in space and transmits it over the wireless network to Earth. Potential benefits of collecting solar energy include a high rate of collection, uninterrupted supply of energy to the Earth from the orbit, where is no night [2]. In space, the amount of solar energy much more than we use today. According to scientists, that the sun's lifespan is 4-5 billion years, which gives people a long-term perspective of obtaining clean energy. This energy has some advantages and disadvantages.

Advantages of Space Solar Power are as follows:

- Unlike oil, gas, ethanol, and coal plants, SBSP does not emit greenhouse gases.

- Unlike coal and nuclear plants, SBSP does not compete for or depend upon increasingly scarce fresh water resources.
- Unlike bio-ethanol or bio-diesel, SBSP does not compete for increasingly valuable farm land or depend on natural-gas-derived fertilizer. Food can continue to be a major export instead of a fuel provider.
- Unlike nuclear power plants, space solar power SBSP will not produce hazardous waste, which needs to be stored and guarded for hundreds of years.
- Unlike terrestrial solar and wind power plants, SBSP is available 24 hours a day, 7 days a week, in huge quantities. It works regardless of cloud cover, daylight, or wind speed.
- Unlike nuclear power plants, space solar SBSP does not provide easy targets for terrorists.
- Unlike coal and nuclear fuels, SBSP does not require environmentally problematic mining operations.
- SBSP will provide true energy independence for the nations that develop it, eliminating a major source of national competition for limited Earth-based energy resources.
- SBSP will not require dependence on unstable or hostile foreign oil providers to meet energy needs, enabling us to expend resources in other ways.

Nonetheless, there are some disadvantages of SBSP such as:

- High development cost. SBSP development costs will be very large, although much smaller than American military presence in the Persian Gulf or the costs of global warming, climate change, or carbon sequestration. The cost of space solar power development always needs to be compared to the cost of not developing space solar power.

Today, all of the space station in orbit is powered energy by solar panels. It means that we are already able to generate solar energy and rework it to any other kind of energy directly in orbit. The power generation in orbit is necessary because of the fact that a significant part of the solar energy lost on the way through the earth's atmosphere due to reflection and absorption. Accordingly, we need a way of transferring the energy generated in orbit to the Earth wirelessly.

Nowadays, technologies are beginning to appear that allow the transfer of various types of energy wirelessly. Wireless power transmission (WPT) of energy or transmission of electromagnetic energy is the transmission of electrical energy without wires. Wireless transmission technologies use time-varying electrical, magnetic, or electromagnetic fields. Wireless transmission use in power electrical devices where connecting wires are inconvenient, dangerous or impossible.

There are too many ways to transmit energy wirelessly [3,4]. In general, this technology consists of a transmitter connected to a power source. This transmitter converts the source energy into an alternating electromagnetic field, and the retransmission devices that are in this electromagnetic field convert it into DC or AC electric current, which is used by the electrical load (figure 1). At the transmitter the input power is converted to an oscillating electromagnetic field by some type of "antenna" device. The word "antenna" is used loosely here. It may be a coil of wire that gener-

ates a magnetic field, a metal plate that generates an electric field, an antenna that radiates radio waves, or a laser that generates light. A similar antenna or coupling device at the receiver converts the oscillating fields to an electric current. An important parameter that determines the type of waves is the frequency, which determines the wavelength.

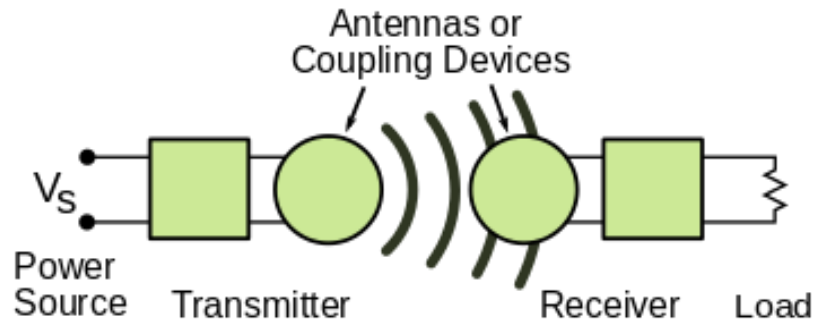


Fig. 1. Generic block diagram of a wireless power system

Type of the wireless power transmission that could transmit the power with more range than other types is a technology of Microwaves. The main difficulties in creating an energy microwave beam is a large diaphragm that is needed to use in space programs because of the diffraction limits the antenna's direction. For example, according to a NASA study of 1978, a microwave antenna with a frequency of 2.45 GHz will require a transmitting antenna with a diameter of 1 km (0.62 mi), and a receiving rectenna in diameter of 10 km (6.2 mi). These dimensions can be reduced by shorter wavelengths. However, short waves can be absorbed by the atmosphere, and blocked by rain. Because of the "curse of a narrow beam," it is impossible to narrow the beam, combining beams from several smaller satellites without a proportional loss in power. For Earth applications, an antenna with a diameter of 10 km will achieve a significant power level while maintaining a low beam density, which is important for safety reasons for humans and for the environment. The level of power density, which is safe for humans, is 1 mW/cm^2 that corresponds to 750 MW in the area of a circle with a diameter of 10 km [1]. This level corresponds to the capacity of modern power stations.

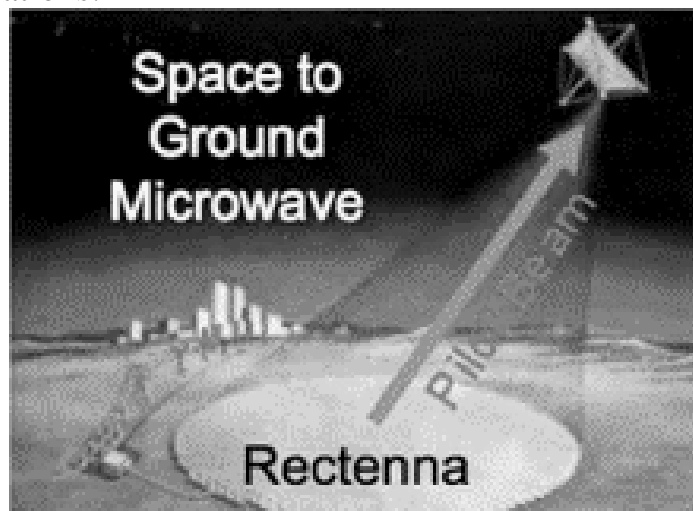


Fig. 2. A laser pilot beam guides the microwave power transmission to a rectenna

To sum up, once can be concluded that today the technology of wireless energy transfer is not developed enough to be used. This fact does not allow us to build solar stations in orbit that could pay off quickly and open up the full potential of space-based solar power. However, this source of clean energy is considered as one of the most promising because in the near future, one of such solar-based power station will be capable of providing energy to entire the Earth.

REFERENCES:

1. "Space-based solar power". ESA–advanced concepts team. Retrieved August 23, 2015.
2. "Space-Based Solar Power". United States Department of Energy (DOE). 6 March 2014.
3. Shinohara, Naoki (2014). Wireless Power Transfer via Radiowaves. John Wiley & Sons. pp. ix–xiii.
4. Sun, Tianjia; Xie, Xiang; Zhihua, Wang (2013). Wireless Power Transfer for Medical Microsystems. Springer Science & Business Media. pp. 5–6

Scientific director: J.L. Shanenkova, assistant, Department of Industrial Electric Power Supply, National Research Tomsk Polytechnic University.

ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 КВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

А.А. Асабин, А.А. Кралин, Е.В. Крюков

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Повышение качества электрической энергии, поставляемой потребителям, является ключевой задачей развития мировой энергетики. Решение данной проблемы особенно актуально для распределительных электрических сетей среднего напряжения (6-10 кВ), характеризующихся большой протяженностью и высоким уровнем электрических потерь.

Несмотря на возможность автоматического регулирования напряжения, существующие технологии морально устарели и не обеспечивают достижение важной цели – переходу к интеллектуальной электроэнергетической системе.

Интеллектуализация распределительных электрических сетей среднего напряжения связана с разработкой и внедрением полупроводниковых устройств, реализующих функции управления режимами работы сетей. Примером являются технологии D-FACTS (Distribution Flexible Alternative Current Transmission Systems), к которым относятся: унифицированные контроллеры потоков мощности (UPFC), контроллеры межсетевых потоков мощности (IPFC), твердотельные устройства регулирования напряжения (SSLTC), устройства поперечной и продольной компенсации с тиристорным управлением (TSSC, D-SSSC).

Главным недостатком указанных технологий является их высокая стоимость. Для отечественных распределительных электрических сетей необходима разработка устройств, реализующих аналогичные функции, но обладающих меньшей стоимостью внедрения.

Авторами разработаны научно-технические решения по созданию тиристорного регулятора напряжения (ТРН), обладающего функциями:

- оперативного регулирования уровней напряжения для обеспечения требуемого качества электроэнергии;
- управления потоками активной и реактивной мощности с целью снижения потерь электрической энергии;
- управления потоками активной мощности, вырабатываемой различными источниками малой генерации;
- управления конфигурацией распределительной электрической сети (изменение с кольцевой схемы на радиальную и обратно).

Разработанный авторами тиристорный регулятор напряжения в сети 6-10 кВ представляет собой тиристорное фазоповоротное устройство с шунтовым и серийными трансформаторами. Упрощенная электрическая схема силовой части ТРН приведена на рисунке 1.

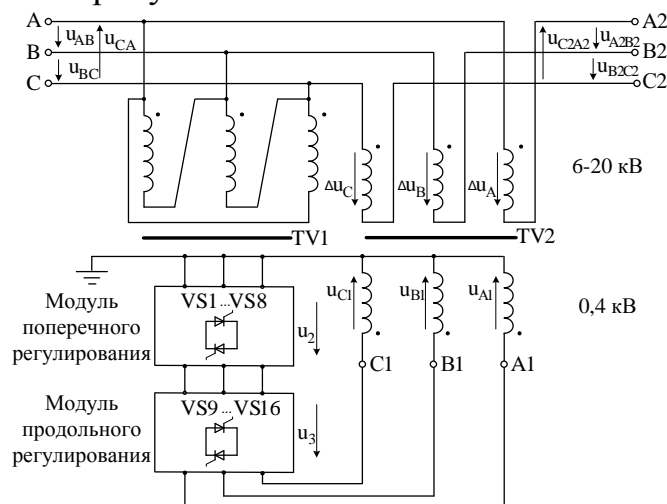


Рис. 1. Упрощенная электрическая схема силовой части ТРН

В основе принципа действия ТРН лежит совместное использование продольного (изменение величины напряжения) и поперечного (изменение фазы напряжения) регулирования напряжения. Совместное использование продольного и поперечного регулирования позволяет изменять фазу и величину выходного напряжения. Кроме функции регулирования напряжения ТРН позволит управлять направлением и величиной потоков активной и реактивной мощностей. Наличие в распределительной электрической сети нескольких устройств позволяет оптимизировать структуру сети и проводить ее реконфигурацию.

На рисунке 2 представлен пример применения ТРН в распределительных электрических сетях 10 кВ при параллельной работе двух ЛЭП (кабельной и воздушной), по которым осуществляется передача электрической мощности от генераторов энергосистемы. Воздушные линии из-за значительного реактивного сопротивления оказываются недогруженными, а кабельные – перегруженными, вследствие чего наблюдаются повышенные потери в сети. ТРН, разме-

щенный в конце воздушной линии, применяется в данном случае с целью оптимизации распределения токовой нагрузки параллельно работающих линий с различными сопротивлениями.

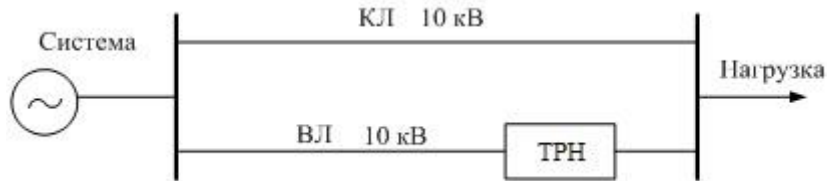


Рис. 2. Схема распределительной электрической сети с параллельно работающими ЛЭП

Расчет токов и падений напряжения на элементах схемы, а также напряжений в узлах схем осуществлен по методу узловых потенциалов в комплексной форме. На рисунке 3 представлена имитационная компьютерная модель участка распределительной электрической сети с двумя параллельно работающими ЛЭП.

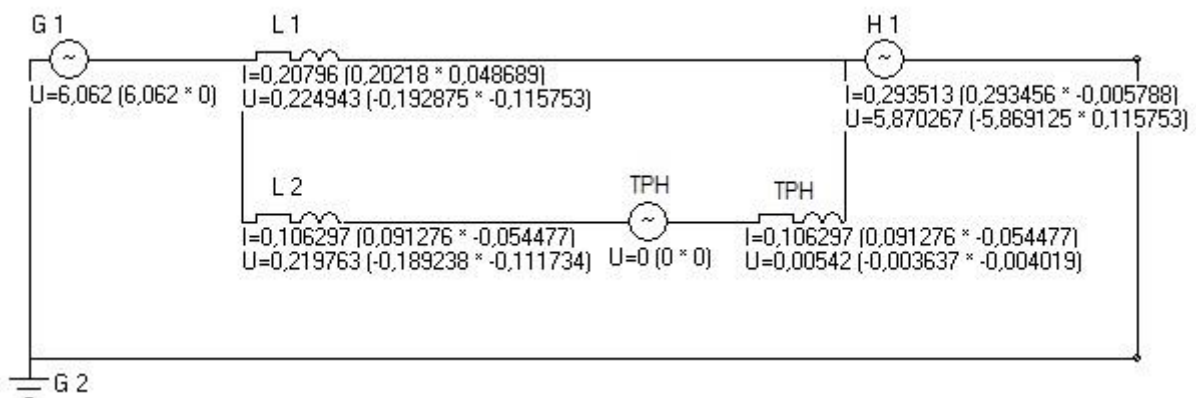


Рис. 3. Имитационная компьютерная модель участка распределительной электрической сети с двумя параллельно работающими ЛЭП

Проведены исследования распределение токов и потоков активной и реактивной мощности, падения напряжения, КПД передачи для двух параллельных линий при изменении действующего значения поперечной составляющей напряжения ТРН. Динамика изменения параметров режима работы сети представлена на рисунке 4.

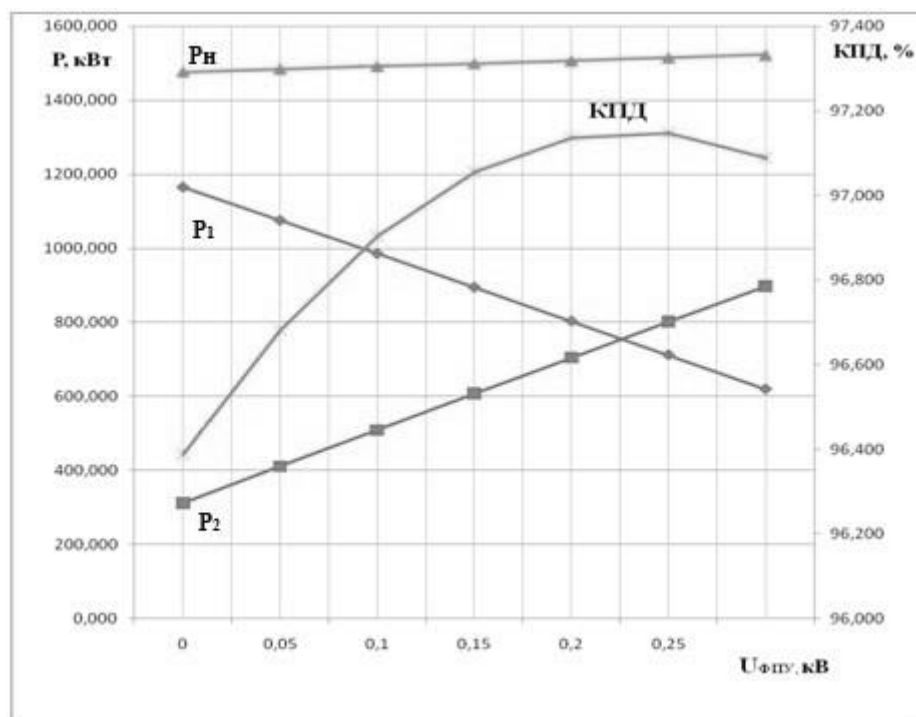


Рис. 4. Зависимость мощности передаваемой по кабельной линии (P_1), воздушной линии (P_2), мощности нагрузки ($P_н$) и КПД передачи от величины действующего значения поперечной составляющей напряжения ТРН

Из рисунка 4 видно, что при достижении поперечной составляющей напряжения ТРН 225 В достигается максимум КПД передачи электроэнергии, при этом мощности, передаваемые по линиям, выравниваются (воздушная линия загружается по мощности, а кабельная – разгружается), а также улучшается режим напряжения на нагрузке и повышается мощность нагрузки.

Таким образом, использование ТРН позволяет регулировать потоки электрической энергии в сложных системах с целью их оптимального распределения между существующими линиями, увеличить пропускную способность линий электропередач вплоть до теплового предела, исключить паразитные транспортные потоки из распределительной сети.

Исследования, проведенные на моделях различных конфигураций электрических сетей с изменением их предельных параметров показали, что диапазон изменения напряжения автоматизированного узла регулирования потоков мощности (ТРН) составляет: по модулю продольного и поперечного регулирования от 100 В до 600 В. Угол поворота напряжения в результате воздействия ТРН не превышает 5 градусов.

Внедрение ТРН в распределительные электрические сети среднего напряжения позволит:

1. стабилизировать уровни напряжения на шинах потребителей;
2. выровнять загрузку питающих трансформаторов (110-220/6-10 кВ);
3. повысить пропускную способность линий электропередач 6-10кВ;
4. снизить (в некоторых случаях вовсе исключить) паразитные потоки мощности в распределительных электрических сетях 6-10 кВ кольцевой конфигурации.

При этом схемотехнические решения, положенные в основу устройства, не требуют реконструкции электрической сети.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Государственная программа РФ “Энергоэффективность и развитие энергетики”. Утв. Постановлением Правительства РФ № 321 от 15.04.2014.
2. Концепция реализации национального проекта “Интеллектуальная энергетическая система России”. – М., 2015. – 25 с.
3. Балабанов М.С., Хамитов Р.Н. FACTS-устройства как базовый кластер электроэнергетики на этапе перехода российской экономики к шестому технологическому укладу // Вестник Югорского государственного университета. – Ханты-Мансийск, 2015. – №2(37). – С. 169-172.
4. Sosnina E., Loskutov A., Asabin A., Bedretdinov R., Kryukov E. Power flow control device prototype tests // IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe. – 2016. – С. 312–316.
5. Пат. на изобретение №2621062. Тиристорное фазоповоротное устройство с вольтодобавочным трансформатором для сети среднего напряжения / Соснина Е.Н., Асабин А.А., Кралин А.А., Крюков Е.В. 2017. Бюл. № 3.

Научный руководитель: Е.Н. Соснина, д.т.н., профессор НГТУ.

ГЕНЕРАТОР НА ДВУХ КАТУШКАХ ТЕСЛА

Е.А. Якушина

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5А65

С открытием электричества, как источника энергии человек пытался добыть его и накопить менее энергозатратным способом. Сейчас существует большое количество способов получения энергии из возобновляемых источников, так человечество научилось собирать энергию вырабатываемую солнцем, ветром, водой, землёй.

Цель работы: преобразование энергии Земли, полученной земляной батареей, и увеличение полученного напряжения до 220В и мощности 40 Вт.

Задачи:

- Изготовить технологическую действующую модель генератора на двух катушках Тесла;
- Изучить явление резонанса, съём мощности с катушек съёма;
- Исследование работы двух трансформаторов Тесла в качерном режиме по схеме энергетических качелей В.И. Бровина.

Актуальность проекта: Использование данной установки будет выгодно для людей имеющих земельные участки, дачи и для сельских жителей. Энергия,

Система представляет собой незамкнутую электрическую цепь (рис. 1), на одном конце её включена антенна - 1, на неё с помощью повышающего трансформатора - 3 приёмника электроэнергии подаётся переменное напряжение амплитудой 800–1000 Вольт и частотой в несколько десятков кГц. На низковольтную обмотку этого трансформатора работает генератор периодического напряжения, питающийся от земляной батареи - 2. К другому контакту повышающей обмотки трансформатора подсоединена нагрузка 4, второй контакт которого заземляется 5.

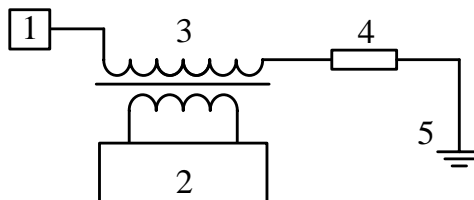


Рис. 2. Схема установки

При подключении источника напряжения в 9В, при отключенном ключе система продолжала работать, показания амперметр 0,5А и 0,3А, частота колебаний 660kHz, подключенная лампа накаливания мощностью ... В горит слабым свечением.

Научный руководитель: Н.М. Балахонов, инженер каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ "УМНОГО ПРОВОДА"

Д.А. Иванов, Д.А. Ярославский, М.Ф. Садыков
Казанский государственный энергетический университет

На сегодняшний день в различных регионах РФ идет реализация ряда пилотных проектов по внедрению элементов интеллектуальной сети. Например, это установка интеллектуальных приборов учета электроэнергии, переход на цифровые подстанции, цифровые устройства сбора данных. Однако, ключевой элемент системы, воздушные линии электропередачи (ВЛ), остаётся слабым её звеном, так как основная часть транспортных сетей эксплуатируется без систем мониторинга реального времени и находится в группе риска возникновения аварийных ситуаций. Это связано с тем, что традиционные способы не позволяют выполнить обследование ВЛ в необходимых масштабах, а существующие перспективные решения не нашли широкого применения ввиду дороговизны и локального размещения с целью решения конкретной задачи.

Мы занимаемся созданием новой технологии построения интеллектуальных проводов на базе существующих воздушных линий путём разработки системы на основе беспроводных датчиков, устанавливаемых на ВЛ.

Все развитые и большая часть передовых развивающихся стран инициировали проекты по развитию «умных сетей». Так, в США идет финансирование различных проектов НИОКР, а с 2009 года реализовывалась профильная программа поддержки, разработок и внедрения технологий «умных сетей» на

принципах софинансирования с частным сектором (всего около 11 млрд долл. за три года). В странах ЕС только в 2012 году на соответствующие цели было направлено около 1,8 млрд евро (около 2,3 млрд долл.). Масштабные программы SmartGrid реализуют Япония, Южная Корея; в чемпионы и по объемам финансирования, и по пилотным проектам выходит Китай. В мире реализуются десятки комплексных пилотных проектов. Глобальные корпорации и малые инновационные компании постоянно представляют все новые разработки.

Последние два-три года ознаменовались ростом интереса к системам интеллектуального электропитания и технологиям интеллектуальных энергосетей (Smart Grids) в Российской Федерации. Первым шагом в этом направлении считается интеграция интеллектуального измерительного оборудования (Smart Meters).

Действующие линии электропередач РФ не оснащены системами мониторинга реального времени, что увеличивает время поиска и устранения неисправностей, аварий и их ликвидации. При наличии систем диагностики ВЛ многие аварии можно предотвращать. Однако, проблема отсутствия универсальных систем мониторинга ВЛ в режиме реального времени и, как следствие, методик интерпретации результатов мониторинга до сих пор остается не решенной. Поэтому в существующих электросетях обследование является преимущественно визуальным и редким; значительное время занимает локализация аварийного участка линии, что усугубляет последствия аварии; отсутствует контроль за состоянием линии (температура, гололёд, перегрузка по мощности и пр.); невозможно объективно оценить остаточный ресурс линии (определяют только по часам выработки, без учёта текущих воздействий на линию).

Задача разработки методик определения состояния ВЛ в режиме реального времени включает в себя разработку методик определения мест и характера короткого замыкания, локализации местоположения обрыва провода, определения степени загруженности линии электропередачи, локализации местоположения удара молнии, контроля гололёдообразования, а также выявления разрегулировки арматуры.

Например, проблема предотвращения гололедных аварий в электрических сетях энергосистем актуальна для многих регионов России и других стран [1-3]. Гололедные отложения создают внешние механические нагрузки на провода и опоры ВЛ электропередачи, приводя к обрывам и коротким замыканиям.

Мы разработали датчик, который послужит платформой для новой технологии построения интеллектуальных проводов на базе существующих воздушных линий путём разработки системы на основе беспроводных датчиков, устанавливаемых на ВЛ. Аппаратная часть устройства имеет распределенную архитектуру (рис.1), которая включает набор датчиков для измерения параметров состояния проводов линии и окружающей среды, и средства приема и передачи данных [1].

Для контроля гололёдообразования на ВЛ проводятся измерения параметров: температура провода; относительная влажность воздуха; угол провеса провода.

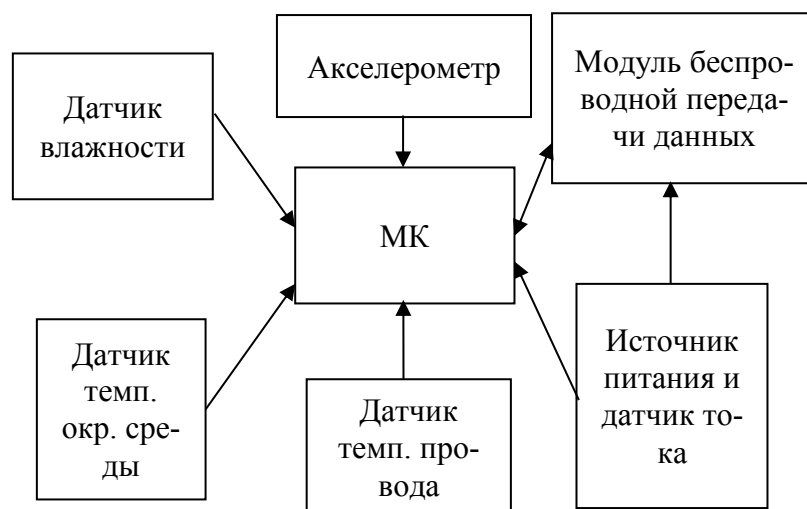


Рис. 1. Структура элемента (устройства) сети

Для измерения влажности и температуры окружающей среды использован датчик, представляющий собой интегральную микросхему, в корпусе которой находится первичный и вторичный преобразователь физической величины, аналого-цифровой преобразователь и драйвер шинного интерфейса I²C, выводы которого подключаются на одноименные выводы микроконтроллера.

Датчик измерения температуры провода представляет собой терморезистор, включенный по мостовой схеме, аналоговый сигнал с которого оцифровывается микроконтроллером. Он установлен на металлической пластине длиной 1,5 сантиметра, находящейся в непосредственном контакте с проводом. От внешних воздействий датчик температуры провода защищён внешней защитной оболочкой, при этом на нём отсутствует термоизоляция в целях исключения его нагрева.

Определение угла провеса провода выполнено с использованием акселерометра. Кроме того, предусмотрена возможность определения действующего значения силы тока в проводе.

Питание устройства осуществляется за счёт отбора мощности с магнитной составляющей электромагнитного поля. Первичным источником питания является трансформатор тока с разделяемым сердечником, установленный на проводе ЛЭП, а вторичная обмотка трансформатора соединена с мостовым диодным выпрямителем, в цепь постоянного тока которого и включен преобразователь. Выход блока питания соединяется с общей шиной питания. Второй трансформатор тока используется в качестве датчика тока.

Приём и передача данных осуществляются по радиоканалу на частоте 2,4 ГГц с использованием модуля беспроводной сети автоматизации процессов (БСАП). Модуль беспроводной радиосвязи представляет собой микросборку. Микросборка соединена с контроллером посредством интерфейса UART. В качестве модуля беспроводной радиосвязи могут быть использованы встраиваемые модули БСАП, сочетающие высокое быстродействие и низкое энергопотребление. Они содержат встроенное программное обеспечение [2-6], реализующее все основные операции в сети, такие как образование сети, присоединение к сети, ретрансляция данных и автоматическое восстановление сети. Причём надёжная связь между соседними устройствами может осуществляться на

расстоянии до 1000 метров при расположении соседних устройств в пределах прямой видимости, что может быть использовано в случае выхода из строя одного или нескольких устройств, так как есть возможность передавать информацию, минуя неисправные звенья.

Из собранной информации формируется пакет с указанием идентификатора отправителя [2]. Измерительный элемент (устройство) сети, находящийся на удаленном конце контролируемого участка ВЛ, производит передачу первым. Он передает пакет ближайшему соседнему элементу [7]. Далее соседний элемент передает полученный и свой пакет следующему элементу, находящемуся ближе к контрольному центру или пункту сбора данных. Таким образом строится самоорганизующаяся сеть из устройств, включающих в себя датчики для измерения основных параметров воздушной линии. Информация о линии с этой сети далее поступает в центр хранения и обработки данных.

Работа по созданию модуля беспроводной сети автоматизации процессов под различные протоколы связи выполняется при финансовой поддержке прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) Министерством образования и науки Российской Федерации по Соглашению №14.577.21.0168 от 27 октября 2015 года, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57715X0168.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Садыков М.Ф. Датчик системы мониторинга гололедно-ветровой нагрузки // В сборнике: Интеллектуальные энергосистемы труды IV Международного молодежного форума: в 3 томах. Томский политехнический университет. 2016. С. 138-140.
2. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Мисбахов Р.Ш. Система мониторинга и количественного контроля гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи // В сборнике: Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи материалы IV российской молодежной научной школы-конференции: в 2 томах. Томский политехнический университет. 2016. С. 334-336.
3. D.A. Ivanov, M.F. Sadykov, I.A. Murataev, D.A. Yaroslavsky, M.P. Goryachev, A.R. Gainutdinov, A.A. Naumov and R.Sh. Misbakhov, 2016. Development of an Automated Lighting Control System Based on Machine Vision and Wireless Communication Channels. Journal of Engineering and Applied Sciences, 11: 2893-2898. DOI: 10.3923/jeasci.2016.2893.2898. URL: <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2016.2893.2898>.
4. D.A. Yaroslavsky, D.A. Ivanov, M.F. Sadykov, M.P. Goryachev, O.G. Savelyev and R.S. Misbakhov, 2016. Real-Time Operating Systems for Wireless Modules. Journal of Engineering and Applied Sciences, 11: 1168-1171. DOI: 10.3923/jeasci.2016.1168.1171. URL: <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2016.1168.1171>.
5. I.N. Lizunov, R.Sh. Misbakhov, I.Z. Bagautdinov, O.E. Naumov and V.V. Ivanov, 2016. A Mathematical Model of the Distribution Transformer Sub-

station in Matlab Simulink. Journal of Engineering and Applied Sciences, 11: 1128-1135. DOI: 10.3923/jeasci.2016.1128.1135 URL: <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2016.1128.1135>.

6. Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Гайнутдинов А.Р., Садыков М.Ф. Выбор операционной системы реального времени для беспроводного устройства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 4. С. 95-100.
7. Safin, A.R., R.Sh. Misbakhov, A.N. Tsvetkov, N.V. Denisova and I.V. Ivshin, 2016. Controlled rectifier simulation model development for reversible reciprocating electrical machine. International Journal of Pharmacy and Technology, 2(8): 14059-14068.

МОДУЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ УМНОГО ПРОВОДА В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

М.П. Горячев, Д.А. Иванов, Д.А. Ярославский
Казанский государственный энергетический университет

Протяжённость воздушных линий электропередачи в Российской Федерации составляет свыше 2,8 млн. км. Электросетевое хозяйство стремительно устаревает. Уровень износа оборудования достигает 70% [1]. Это приводит к обрывам на воздушных линиях электропередачи и снижению качества поставки электроэнергии. Одно из основных направлений улучшения ситуации - проведение глубокой модернизации электросетевого хозяйства с ориентиром на энергоэффективность.

Развитие микроэлектроники позволило производить достаточно дешёвую элементную базу для создания беспроводных сенсорных сетей в целях мониторинга состояния воздушных линий электропередачи. Внедрение беспроводных сенсорных сетей для обследования воздушных линий позволит оптимизировать загрузку воздушных линий и осуществлять их замену по текущему состоянию. Беспроводная сенсорная сеть — это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала.

В качестве узла сенсора будет выступать модульное устройство (рис.1), состоящее из основной платы, на которой установлен микроконтроллер с необходимой обвязкой и модуль связи [2,3]. Датчик устанавливается непосредственно на фазный провод. Возможны модификации с модулем автономного питания, модулем электростатического питания – для линий 110 кВ и выше с отбором мощности от ВЛ, модулем электромагнитного питания – для линий до 110 кВ с отбором мощности от ВЛ.

Модульное устройство конфигурируется в зависимости от решаемых задач: контроль гололёдообразования; контроль плавки гололёда; локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии; определение электрических

нагрузок на проводе или контроль нагрузки транзитных ВЛ; определение механических нагрузок на проводе; определение условий возникновения гололедообразования.

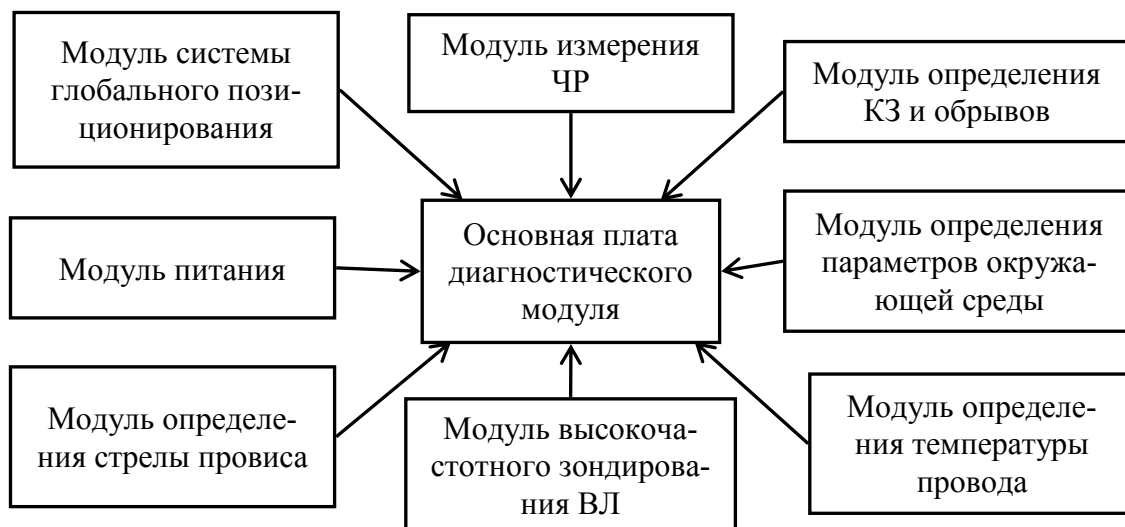


Рис. 1. Блок-схема модульного устройства

Контроль гололедообразования осуществляется путём установки модуля определения стрелы провиса и/или модуля высокочастотного зондирования ВЛ. Стрела провиса определяется благодаря акселерометрам, передающим информацию об угле наклона датчика, устанавливаемого непосредственно на проводе. Тем больше стрела провиса, тем выше гололедная нагрузка на данный провод. Однако, следует учитывать и перетяжку проводов между соседними пролётами. При высокочастотном зондировании осуществляется локацию провода зондирующими импульсами и обеспечивается обнаружение сигналов, отраженных от неоднородностей волнового сопротивления линии. Появление гололеда на проводах линии обнаруживается по уменьшению амплитуды и увеличению запаздывания импульса, отраженного от конца линии [4].

Контроль плавки гололеда проводится благодаря использованию модуля\определения температуры провода. Это позволяет избегать перегрузок провода по току, приводящих к его повреждению.

Локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии реализуется путём установки датчика тока и модуля системы глобального позиционирования. Роль модуля глобального позиционирования может заменить адрес устройства диагностики, местоположение которого заранее известно. Более точная локализация будет наблюдаться, если устройства будут установлены в начале и в конце воздушной линии.

Определение электрических нагрузок на проводе или контроля нагрузки транзитных ВЛ осуществляется установкой модуля определения температуры провода. Это позволяет оптимизировать загрузку линии, учитывая текущие потери и термические воздействия на провод.

Определение механических нагрузок на проводе осуществляется благодаря модулю определения стрелы провиса. Это позволяет определять текущие испытываемые проводом механические воздействия, а также уровень износа (усталости) воздушной линии.

Определение условий возникновения гололедообразования достигается за счёт установки модуля определения параметров окружающей среды. Данный модуль включает в себя датчик температуры провода, датчик температуры воздуха, и датчик относительной влажности. Модуль позволяет выявить точку дисублимации [4].

Система на основе модульных датчиков, устанавливаемых на ВЛ, представляет собой установленные в каждом пролёте и на каждой фазе датчики, передающие информацию друг через друга, питающиеся от линии (для резервного питания предусмотрен модуль автономного питания). При этом реализуется резервирование каналов связи, что подразумевает передачу данных, минуя неисправное устройство, не только в пределах одного фазного провода, но и через устройства на соседних фазных проводах [5]. Модуль сбора информации может быть заменён на другой, в зависимости от задач мониторинга, а неизменный модуль связи может быть использован в качестве инфраструктуры для передачи данных. Данные с модульных устройств собираются на «облачном» сервере, где обрабатываются. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения посредством web-интерфейса.

Что касается канала связи устройств, то он будет организован на основе собственного протокола «интеллектуальный провод» на основе модификации стандарта IEEE 802.15.4 [6,7]. Передача данных на средний уровень (накопление первичных данных) также осуществляется модульными устройствами ввиду возможности их достаточно близкого расположения от ближайшего вычислительного устройства (точка сбора может быть установлена на подстанции, которая находится в непосредственной близости от диагностируемой ВЛ) через модуль совместимый со стандартом IEEE 802.15.4 и подключенный к вычислительной машине через UART-USB преобразователь. При необходимости интеграции данных в ОИК «Диспетчер» возможна установка устройства сопряжения.

Однако, следует учитывать и топологические особенности построения сенсорной сети в зависимости от конфигурации диагностируемой электрической сети. В первую очередь, предполагается оснащение сенсорами именно распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже, так как данные воздушные линии являются наименее обследованными, но при этом самыми протяжёнными. В сетях данного типа преобладают радиально-магистральные (древовидные) структуры.

На основе результатов исследования будут созданы модульные устройства, открывающие широкие возможности для мониторинга состояния воздушных линий благодаря применению различных наборов датчиков, подключаемых по модульному принципу. Это позволяет с минимальными финансовыми затратами превращать обычный провод в умный путём простой установки на него устройства, конструкция которого позволяет изменять конфигурацию оборудования и решать широкий спектр задач: локализация места обрыва или короткого замыкания; контроль гололедообразования; оценка остаточных ресурсов провода исходя из данных об электрических и механических нагрузках в динамике.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта 17-48-160878 p_a.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боков Геннадий. Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? Новости Электротехники. 2002. №2(14). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2002/14/03.php>
2. Yaroslavsky D.A., Ivanov D.A., Sadykov M.F., Goryachev M.P., Savelyev O.G., Misbakhov R.S. Real-time operating systems for wireless modules // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 6. С. 1168-1171. DOI: 10.3923/jeasci.2016.1168.1171 <http://elibrary.ru/item.asp?id=27574026>
3. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Садыков М.Ф. Датчик системы мониторинга гололедно-ветровой нагрузки // В сборнике: Интеллектуальные энергосистемы труды IV Международного молодёжного форума: в 3 томах. Томский политехнический университет. 2016. С. 138-140.
4. Иванов Д.А., Савельев О.Г., Мисбахов Р.Ш. Система мониторинга и количественного контроля гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи // В сборнике: Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи материалы IV российской молодежной научной школы-конференции: в 2 томах. Томский политехнический университет. 2016. С. 334-336.
5. Faludi, R. Building Wireless Sensor Networks // O'Reilly Media, 2010 -320 с.
6. Майская, В. Беспроводные сенсорные сети, малые системы - большие баксы / В. Майская // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 2005. - №10. - С. 18–22.
7. Панфилов, Д., Соколов, М. Введение в беспроводную технологию ZigBee стандарта 802.15.4. URL: <http://www.freescale.com/files/abstract/global/s50210.pdf>.

Научный руководитель: М.Ф. Садыков, к.ф.-м.н., зав.каф.ТОЭ, КГЭУ.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ АСКУЭ

Р.М. Сагадуллина

Казанский государственный энергетический университет

В соответствии со ст.11 «Основных положений функционирования розничных рынков электрической энергии», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 04.05.12 г. № 442, гарантирующий поставщик в целях обеспечения качественного и своевременного обслуживания потребителей (покупателей) обязан внедрять программы мероприятий по по-

вышению качества обслуживания, предусматривающие в том числе и мероприятия по обеспечению своевременного снятия и приема показаний приборов учета от потребителей способами, допускающими возможность удаленной передачи сведений о показаниях приборов учета [1].

Пилотные проекты по созданию автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) успешно реализованы в целом ряде регионов Российской Федерации. Их внедрение было продиктовано стремлением обеспечить активную экономию потребляемой электроэнергии с последующей реализацией мероприятий по энергосбережению. Однако указанные системы позволяют решить и острую социальную проблему, связанную с высоким уровнем расходов электроэнергии на общедомовые нужды (далее - ОДН). АСКУЭ позволяют эффективно решать вопросы, связанные с необходимостью организации синхронных съемов показаний приборов учета (далее – ПУ), а также с выявлением и пресечением фактов безучетного потребления (хищения) электрической энергии. Внедрение современной интеллектуальной системы учета делает порядок расчетов для собственников помещений в многоквартирных домах прозрачным, что ведет к улучшению платежной дисциплины населения при оплате коммунальных ресурсов. Это является наиболее актуальным для жителей многоквартирных домов, где система АСКУЭ позволяет потребителям управлять своим энергопотреблением за счет получения оперативной и достоверной информации.

Действующие Правила предоставления коммунальных услуг, утвержденные Постановлением Правительства РФ № 354 от 06.05.11 г., исходят из презумпции добросовестности потребителя при передаче показаний индивидуальных приборов учета электрической энергии [2]. Причем передача показаний является правом, а не обязанностью потребителя. Правила предоставления коммунальных услуг не устанавливают конкретную дату, на которую должны быть переданы показания индивидуального прибора учета. Если показания индивидуального прибора не передаются потребителем в течение полугода, то объем фактически потребленного энергоресурса определяется на основании данных о среднемесечном расходе, которые зачастую не отражают реального потребления электрической энергии в жилом помещении, а также исходя из нормативов потребления, которые также не отражают реального потребления.

На протяжении последних лет в Республике Марий Эл одной из острых является проблема значительного объема сверхнормативного потребления электроэнергии на общедомовые нужды (ОДН). Особенно остро она обозначилась с января 2014 года, когда уровни расходов на ОДН в 1435 многоквартирных домах (далее – МКД), т.е. в 37% многоквартирного жилого фонда, оборудованного общедомовыми приборами учета, устойчиво стали превышать нормативные, установленные Республиканской службой по тарифам Республики Марий Эл.

Причины значительного роста ОДН связаны с целым рядом причин:

1. Наличие МКД из состава жилого фонда бывших общежитий и коммунальных домов, где полностью отсутствует система индивидуального учета потребляемой электрической энергии, а установка прибо-

ров учета невозможна без капитального ремонта и модернизации общедомовых электрических сетей.

2. Наличие значительного числа домов, в которых решение проблемы ОДН связано с реализацией ряда технических и энергосберегающих мероприятий, в том числе и по выносу индивидуальных ПУ в места общего пользования, либо применения системы АСКУЭ, позволяющей дистанционно, без доступа в помещение квартиры, снимать показания по индивидуальному потреблению электрической энергии.
3. Несинхронность снятия и передачи показаний, либо их отсутствие.
4. Хищение электроэнергии.

В этом списке особое место занимают дома, ранее относившиеся к жилому фонду ведомственных общежитий Республики Марий Эл и так называемых «малосемеек». В данном жилом фонде существует ряд особенностей, которые делают невозможным решение проблемы сверхнормативных расходов на ОДН без кардинального изменения системы учета потребленной электроэнергии:

1. Нет системы индивидуального учета потребленной электроэнергии. Оснащенность ПУ составляет 6,3%. В целом ряде МКД отсутствует техническая возможность установки ПУ без изменений системы электроснабжения. В жилых помещениях блочного типа не установлены общеквартирные приборы учета, что делает невозможным учет потребления по ИПУ.
2. Расход электроэнергии на ОДН составляют 36,9% от всей потребленной электроэнергии, так как они формируются в том числе за счет потребления бытовых электрических приборов (индивидуальных электроплит, стиральных машин, холодильников, водонагревателей), установленных в местах общего пользования. При этом доля сверхнормативных расходов на ОДН доходит до 25% от всей потребленной в МКД электроэнергии и составляет по бывшим общежитиям и коммунальным домам 1,87 млн. кВт-ч в год.
3. Отмечается низкий объем индивидуального потребления при применении нормативов. В данном жилом фонде процветает нелегальный коммерческий найм. При этом количество помещений, где никто официально не зарегистрирован, а значит и не производятся начисления за индивидуальное потребление, составляет более 22%.

Непрозрачность системы индивидуального учета (начисления производятся по нормативу потребления электроэнергии в отсутствие приборов учета) и высокие расходы на ОДН являются основными причинами низкой платежной дисциплины в данном жилом фонде. Ситуацию усугубляет отсутствие технической возможности введения ограничений потребителей, имеющих значительную задолженность.

Проведенный анализ данных показывает, что наличие сверхнормативного потребления в многоквартирных домах г. Йошкар-Олы за один месяц приносит гарантирующему поставщику 911,8 тыс. кВт-ч коммерческих потерь что в денежном выражении составляет 2,4 млн. руб. Аналогичная ситуация просматри-

вается и при расчете потребления на ОДН в многоквартирных домах с неопределенной формой управления, где сверхнормативное начисление ОДН ложится на плечи собственников жилых и нежилых помещений.

Дополнительный отрицательный фактор - это рост невозвратной дебиторской задолженности, которая доходит в таких домах до 5-10 % от суммы начислений. Сумма коммерческих потерь от сверхнормативных расходов на ОДН составила только по многоквартирным домам г. Йошкар-Олы более 35 млн. руб. в 2016 году.

Указанные суммы будут предъявлены в качестве незапланированных расходов гарантирующего поставщика при установлении сбытовых надбавок, что с высокой вероятностью приведет к росту нагрузки на население и предприятия региона в результате увеличения тарифов и цен на электроэнергию. При этом указанная ситуация будет повторяться из года в год, а объем сверхнормативного потребления будет только возрастать.

Эффективным решением обозначенной проблемы может стать включение жилого фонда с устойчивым сверхнормативным потреблением электроэнергии на ОДН в региональную программу создания АСКУЭ.

Следует подчеркнуть, что принятие Федерального закона № 167 от 29 июня 2015 года, который предписывает с 1 апреля 2016 года перевести расходы на общедомовые нужды в строку «содержание многоквартирного дома» [3], не решит данной проблемы, а переложит ее на плечи управляющих компаний. В результате это нововведение обернется неплатежами за потребленную электроэнергию на ОДН уже со стороны управляющих организаций и породит очередную серию их банкротств. Либо управляющие компании будут отказываться от управления проблемными домами (с устойчивым превышением ОДН), в этом случае затраты на сверхнормативный ОДН опять лягут на Гарантирующего поставщика.

Детально изучив опыт создания и эксплуатации АСКУЭ в соседних регионах Центрального федерального округа: Владимирской, Ярославской и Московской областях отмечено, что эффективность использования автоматизированных систем при расчетах потребления электрической энергии на общедомовые нужды высока и оборудованные данной системой дома не имеют проблем, связанных со сверхнормативным объемом потребления. Это позволяет сделать вывод о целесообразности и эффективности использования этой системы при решении проблем сверхнормативных объемов ОДН, своевременных контрольных съемов показаний индивидуальных приборов учета и борьбы с хищениями электрической энергии, которые влекут за собой значительные затраты гарантирующего поставщика на осуществление основной деятельности.

Внедрение АСКУЭ в целом благоприятно отражается на состоянии внутридомовых сетей проблемного жилого фонда.

Внедрение АСКУЭ дает возможность упорядочить расчеты за энергоресурсы, и делают их прозрачными как для поставщика, так и для потребителя.

Внедрение системы АСКУЭ позволит достичь экономии расходов и, следовательно, снизить нагрузку на население, в результате снижения объемов коммерческих потерь (электрической энергии нереализованной жителям мно-

жоквартирных домов в результате начисления платы за электрическую энергию, потребленную на общедомовые нужды в пределах норматива), снижения дебиторской задолженности и расходов, связанных с ее взысканием (с учетом необходимости привлечения банковских кредитов по минимальной ставке 14,2%), снижения затрат на проведение контрольных съёмов показаний ИП, снижения затрат на ввод ПУ в эксплуатацию, снижения затрат на введение режима ограничения потребителей (удаленное отключение/подключение электроэнергии).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 № 442 (ред. от 28.07.2017) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [Электронный ресурс]. – Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
2. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 № 354 (ред. от 27.06.2017) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» [Электронный ресурс]. – Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
3. Федеральный закон от 29.06.2015 № 167-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Доступ из СПС «КонсультантПлюс».

Научный руководитель: Р.К. Шакирова, к.э.н., доцент, Марийский государственный университет.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОРГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ В ИЗОЛИРОВАННОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПРЕДЕЛЁННОГО РЕЕСТРА

Е.О. Солдусова, А.В. Проничев

Самарский государственный технический университет

Современная электроэнергетика – одна из самых наукоёмких и технологичных отраслей промышленности. Одним из перспективных направлений для поиска решений задач управления режимами и коммерческого учёта электроэнергии в электроэнергетических системах является применение технологий распределённого реестра – Blockchain, что обусловлено повышением доступности возобновляемых источников энергии, объединяемых в системы с распределённой генерацией [1].

В данной работе предлагается использование автоматического устройства, реализующего технологию Blockchain, для учёта переданной и потреблённой в каждом узле сети электроэнергии посредством системы самоисполняе-

мых контрактов, а также осуществляющего функции автоматизированного управления режимами микрогрида.

Целью настоящей работы является обоснование и реализация принципов управления режимами и коммерческого учёта электроэнергии в микрогридах с помощью автоматического устройства, реализующего технологию Blockchain. Управление режимом в данном случае направлено на сокращение необходимых резервов мощности с учётом требуемого уровня надёжности электроснабжения и качества электроэнергии. При этом рыночный механизм в рамках микросети организован на основе подходов [2-3].

Анализ режимов работы микрогрида

Расчет режима работы рассматриваемой системы был произведен в программе RastrWin3 с целью учета потерь в электроэнергетической системе.

Схема электроснабжения 0.4 кВ состоит из 20 узлов нагрузки и одного балансирующего узла. Каждый узел – это дом с собственной генерацией в виде небольшой солнечной электростанции в комбинации с аккумуляторными батареями. Активная нагрузка каждого дома (узла) - 5 кВт, коэффициент мощности 0.95. В качестве балансирующего узла в реальной системе может выступать вторичная обмотка трансформатора 6(10)/0.4 кВ, либо дизель-генераторная установка (ДГУ).

Для расчетов использовались 5 вариантов солнечных электростанций, в комплект каждой из которых входят: солнечные панели, крепеж, инвертор, аккумуляторные батареи. Их установленные мощности были равны 0.8, 2.4, 3, 3.2, 4 кВт.

На рисунке 1 представлен алгоритм управления изолированной энергосистемой. После подачи сигнала о введении в работу на головное устройство в системе начинается непрерывный расчет и запись баланса активной мощности в энергосистеме с дискретностью 1 с. В случае соблюдения баланса мощности, или незначительном превышении генерируемой $\Sigma P_{ик}$ над потребляемой мощностью $\Sigma P_{ик}$ – соответствующий сигнал подается на каждое ведомое устройство в сети. В ведомом устройстве пользователя ведется расчет локального баланса активной мощности, от которого зависит дальнейший учет балансов пользователя в реальной и внутренней валютах.

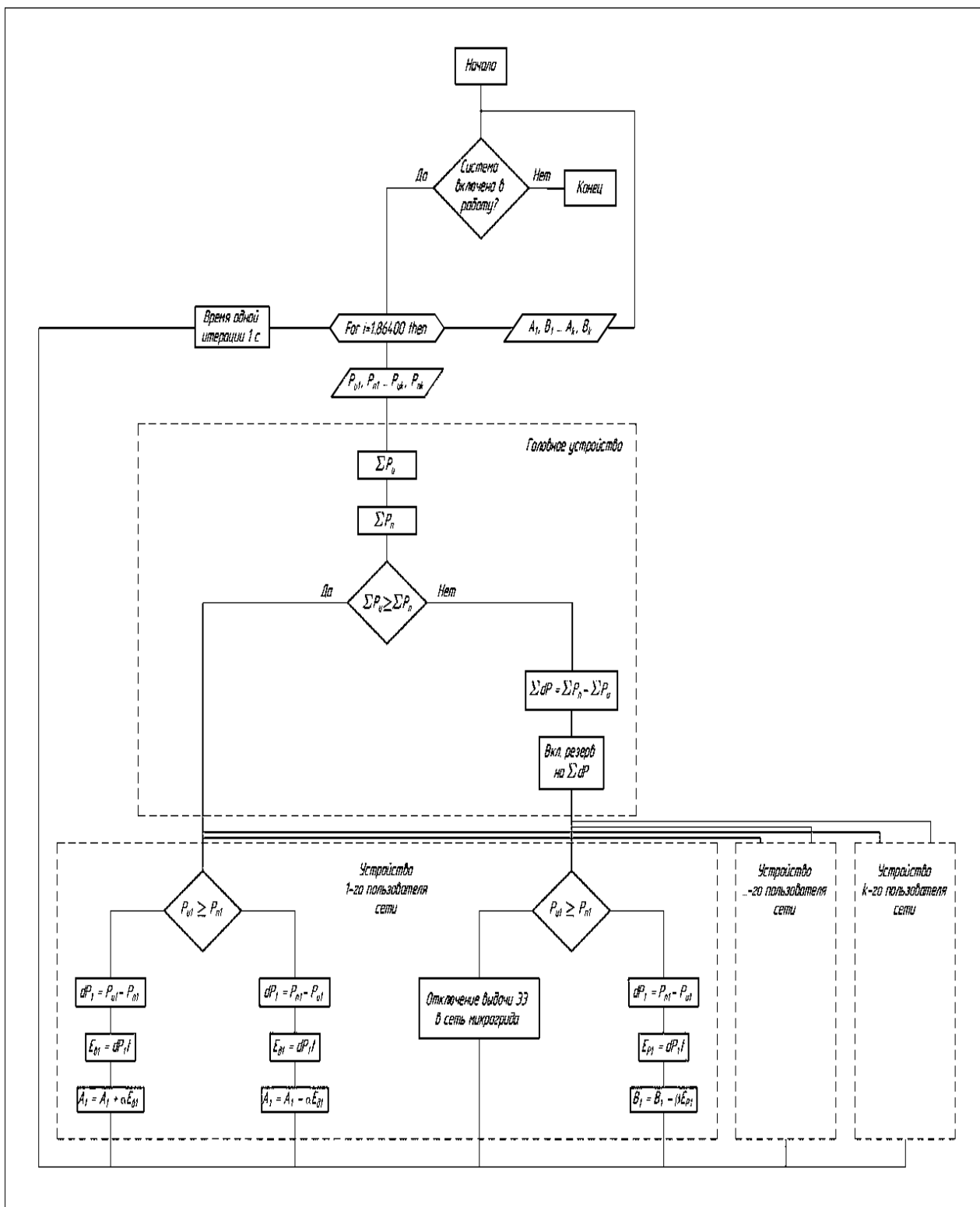


Рис. 1. Алгоритм управления микрогридом

Если в доме k-го пользователя сети имеется избыток по генерируемой активной мощности $P_{ик}$, то он выдает ее в сеть микрогрида. При этом ведомое устройство, выступая в качестве счетчика электроэнергии, ведет запись выданной в сеть микрогрида электроэнергии $E_{вк}$. Эта энергия продается в сеть по тарифу во внутренней валюте α , тем самым пополняя соответствующий баланс пользователя A_k . В случае дефицита активной мощности у k-го пользователя – энергия $E_{дк}$ потребляется из сети, уменьшая пропорционально тарифу во внутренней валюте α соответствующий баланс пользователя.

Рассмотрим такую ситуацию, когда собственной электроэнергии в микрогриде не хватает – потребляемая мощность $\Sigma P_{\text{пк}}$ превышает генерируемую $\Sigma P_{\text{ик}}$. В этой ситуации по сигналу головного устройства происходит автоматический ввод резерва на заданную им мощность. Сигнал также подается на каждое ведомое устройство сети. Если в таком режиме у k -го пользователя имеется избыток генерируемой активной мощности – он не имеет возможности выдавать ее в сеть. В случае же дефицита активной мощности – энергия $E_{\text{рк}}$ будет потребляться из резерва, уменьшая баланс пользователя в реальной валюте B_k пропорционально реальному тарифу на электроэнергию β .

В качестве головного и ведомых устройств в реальной системе планируется использование промышленных программируемых контроллеров, например «SIEMENS LOGO!».

Расчеты показывают (Таблица 1), что при увеличении установленной мощности в каждом узле – возможна одновременная работа большего числа узлов без получения электроэнергии из внешней энергосистемы.

Табл. 1. Результаты анализа режимов работы микрогрида

Установленная мощность в узле (кВт)	Соотношение выработки и потребления в узле (%)	Количество узлов, одновременно находящихся в нагрузке
0,8	16	2
2,4	48	8
3	60	10
3,2	64	11
4	80	14

Экономическая эффективность

Для каждого из пяти вариантов комплектов рассчитана стоимость оборудования для всего поселка. Эта стоимость включает в себя саму солнечную станцию, а так же стоимость устройства АСКУЭ.

Зная количество узлов с собственной генерацией, был произведен расчет их выработки, считая что выработка происходит 12 часов в сутки. По действующему тарифу электроэнергии на напряжение 0.4 кВ был произведен расчет экономии средств и срока окупаемости. Максимальный срок составляет 8 лет, что значительно меньше срока эксплуатации солнечной станции, который составляет 20 лет. Результаты расчетов представлены в Таблице 2.

Табл. 2. Результаты анализа эффективности

Собственная генерация (кВт)	Собственная выработка за год (кВт·ч)	Экономия средств в год (руб)	Срок окупаемости
0,8	70080	180105,6	8,0
2,4	210240	540316,8	5,1
3	262800	675396	5,6
3,2	280320	720422,4	5,7
4	350400	900528	7,8

Однако, расчет срока окупаемости был произведен исходя из того, что не была учтена купля-продажа энергии внутри системы, а было учтено количество электроэнергии, которое не нужно покупать из внешней энергосистемы за счет собственной генерации.

Но если работает система Blockchain и отдельному потребителю не хватает собственной генерации, то он покупает её у того, у кого она в избытке за собственную внутрисетевую валюту.

Выводы

Использование распределённой генерации в малых изолированных энергосистемах является экономически оправданным: срок окупаемости устройств распределённой генерации значительно меньше срока их эксплуатации; Для организации взаиморасчётов между собственниками объектов малой генерации в микрогриде возможно применение технологии самоисполняемых контрактов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. G. W. Arnold, «Challenges and opportunities in smart grid: a position article» Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 6, pp. 922–927, 2011.
2. C. Block, D. Neumann, C. Weinhardt «A Market Mechanism for Energy Allocation in Micro-CHP Grids» Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences – 2008, pp. 1-11.
3. J. Pascual, J. Barricarte, P. Sanchis, L. Marroyo «Energy management strategy for a renewable-based residential microgrid with generation and demand forecasting», Applied Energy 158 (2015) 12–25.

Научный руководитель: Е.М. Шишков, к.т.н., заместитель директора по науке, информатизации и инновациям филиала СамГТУ в г. Новокуйбышевске.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДА КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В ГОРОДЕ ТОМСКЕ

Л.А. Бойко, А.И. Исакова, Д.П. Крауиньш
Томский политехнический университет

Аннотация. Последние десятилетия цены за пользование сетями электроэнергии поднимаются, необходимость потребления также растёт. В связи с этим произведены исследования для определения перспектив применения, и выдвинуты несколько возможных идей использования малой энергетики в городе Томске.

Ключевые слова: Малая энергетика, ветровая энергии, скорость ветра, ветрогенераторы с вертикальной осью вращения, ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения, многолопастные ветрогенераторы, Томск.

Существует множество способов по извлечению энергии из окружающей среды либо самостоятельного генерирования её. К сожалению, большинство

современных источников энергии не бесконечны. Существует относительно новая отрасль – малая энергетика, которая подразумевает преобразование нескончаемой свободной энергии без вреда для окружающей среды.

Было проведено оценивание возможностей применения малой энергетики на территории Томска. Основной упор в работе был сделан на ветроэнергетику.

Преобразование энергии ветра в электроэнергию очень эффективно, т.к. ветрогенератор производит в 17 – 40 раз больше энергии, чем потребляет за это время. В свою очередь, КПД может достигать пятидесяти процентов. Энергия ветра является общедоступным возобновляемым ресурсом. Её использование не влечет за собой любого рода пагубных воздействий на экологию, т.к. осуществляется без выбросов веществ либо парниковых газов в атмосферу.

Минусы ветряков в зависимости продуктивности их работы от скорости ветра. Так же они не переносят резких порывов, превышающих максимально допустимые скорости ветра для конкретной станции. Оптимальное расположение для ветряков это - возвышенность с высокой скоростью ветра и низкой турбулентностью. Некоторые ветряки достаточно шумные, а защитники природы заявляют, что о вращающиеся лопасти разбиваются птицы. В связи с этим в ветряные электростанции, как правило, прекращают свою работу в сильно ветреную погоду и сезоны миграции птиц.

Для Томской области максимальные скорости ветра на высоте 10м достигаются в период с октября по май – 3,6 м/с, минимальные наблюдаются в июле и августе, тогда скорость ветра достигает 2,4 м/с. В среднем за год скорость ветра варьируется от 1,6 до 4,5 м/с, что открывает перспективы развития ветряных станций в нашем городе, мощностями 5, 10, 20 кВт. Стоит учесть, что с увеличением высоты, возрастает и скорость ветра.

Ветрогенераторы бывают с горизонтальной и вертикальной осью вращения. В таблице 1 проведено сравнение двух видов генераторов.

Табл. 1. Сравнения вертикальных и горизонтальных ветрогенераторов

Вертикальные ветрогенераторы	Горизонтальные ветрогенераторы
КПД 20-30%	КПД 25-35%
Не нуждаются в изменении положения при смене направления ветра.	Есть необходимость изменять свое положение для ориентации на направление ветра, при поворотах производительность падает.
Конструкция позволяет располагать редуктор с генератором в основании башни за счет удлинения вала.	Генератор с редуктором располагаются рядом с турбиной, наверху мачты, тем самым усложняя конструкцию.
Не нуждается в частом обслуживании: в строении нет щеток, обслуживаемых подшипников, редукторов.	Нуждается в периодическом обслуживании.
Стартовое вращение с 1-1,5 м/с. Не требует использования дополнительных устройств для запуска.	Стартовое вращение с 2-3 м/с.
Уровень шума до 20 дБ. В связи с	Уровень шума свыше 30 дБ (при

этим не имеет ограничений по расстоянию вблизи жилья.	сильном ветре превышает 100 дБ).
Выход на номинальную мощность с 6 м/с (в зависимости от особенностей конструкции)	Выход на номинальную мощность с 8-10 м/с
Большое количество положений лопастей, в котором ветер производит отрицательную работу, и эффективность турбины снижается.	Производительность ветрогенератора обратно пропорциональна количеству лопастей. Самыми распространёнными являются трёхлопастные устройства.
Срок службы при соблюдении инструкций 15-25 лет бесперебойной работы. Основному износу подвергаются опорные узлы и лопасти.	Срок службы при соблюдении инструкций 15-25 лет бесперебойной работы. Основному износу подвергаются опорно-подшипниковые узлы и поворотные механизмы.
Рекомендуются к использованию в зонах с высокой турбулентностью и часто меняющейся скоростью ветра.	Рекомендуются к использованию во всех остальных зонах (более широкий диапазон применения)
Кроме того, у вертикальных ветрогенераторов съём энергии происходит в более широком диапазоне скоростей ветра; гироскопические нагрузки и вибраций ниже, чем у горизонтальных ветряков. Так же они проще в эксплуатации и ремонте абсолютно безопасны для животных.	

После сравнения можно прийти к выводу, что для использования на территории Томска вертикальные ветрогенераторы обладают явными преимуществами перед ветрогенераторами с вертикальной осью вращения.

По результатам исследования можно сделать выводы, что применение малой энергетики на территории Томска возможно и рациональнее использовать ветрогенераторы с вертикальной осью вращения. Используя специальные конструкции и установки в повседневной жизни, можно частично отказаться от централизованного электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.В. Литвак, В.А. Силич, М.И. Яворский. О создании рынка энергии на основе программы энергосбережения Томской области // Энергосбережение по Томску. Сборник статей, докладов и выступлений / Под ред. В.Н. Уйманова. – Томск: Изд-во Том. ун-та. 2001. – 204 с.
2. Оценка ветро-энергетического потенциала Томской области / Г.Г. Журавлев / Вестник Томского государственного университета 2001 N 274 (сентябрь). С. 141-147
3. Ветроэнергетика. Под ред. Д. Рензо. Пер. В.В. Зубарева, М.О. Франкфурта под ред. Я.И. Шефтера. - М. Энергоатомиздат, 1982, с. 272 (см. с. 44, рис. 1.22)

4. [Электронный ресурс]– режим доступа: [http://energomir.biz/alternativnaya-energetika/veter/gorizontalnyj-vetrogenerator.html]
5. [Электронный ресурс]– режим доступа: [Исследование аэродинамики и энергетических характеристик ротора Савониуса / Бубенчиков А.А [и др.]]//Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – декабрь – С. 28-34.]
6. [Электронный ресурс]– режим доступа: [http://vetrodvig.ru/vetrogenerator-vertikalnyj-vetrogenerator-s-vertikalnoj-osyu-vrashheniya/]
7. Фатеев Е.М. «Ветро двигатели и ветроустановки». – М.: ОГИЗ–Сельхозгиз, 1948

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Э.К. Шуманский, Ю.Н. Булатов
Братский государственный университет

Введение. Единая электроэнергетическая система (ЕЭС) России является сложным динамическим объектом, управление которым требует применения сложных автоматических систем. В настоящее время управление ЕЭС России построено по иерархическому принципу с центральной управляющей системой во главе. Такая система организации и управления ЕЭС нуждается в модернизации, хотя бы потому, что полностью централизованное управление становится неэффективным из-за наличия огромных потоков информации и больших временных затрат на её передачу в центр для принятия управленческого решения. Особенно актуален данный вопрос в случае применения большого количества источников малой генерации.

Системы управления ЕЭС включают в себя подсистемы, обладающие разными функциональными характеристиками и взаимодействующие с разными специалистами, удаленными друг от друга. Поэтому некоторые элементы организационного управления должны быть переданы от центра к периферии с чётким разграничением прав и информационного доступа [1].

Для решения обозначенных проблем в условиях возрастающих требований к надёжности, энергоэффективности и к качеству электроэнергии необходим переход отечественной электроэнергетики на новое качество управления путём создания интеллектуальной электроэнергетической системы (ЭЭС) с активно-адаптивной сетью (ИЭЭС ААС), представляющей собой клиентоориентированную ЭЭС нового поколения. Такая система должна обеспечить доступность использования ресурса, надёжное, качественное и эффективное обслуживание потребителей электроэнергии за счёт гибкого взаимодействия всех её субъектов на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной иерархической системы управления [2, 3].

Важными элементами ИЭЭС ААС являются установки распределённой генерации (РГ), в том числе реализованные на основе нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Высокая энергоэффективность применения установок РГ в системах электроснабжения может быть достигнута благодаря использованию современных интеллектуальных систем управления, например, выполненных на основе мультиагентного подхода [4...6].

Ниже рассматривается мультиагентный подход и возможная структура мультиагентной системы управления (МАСУ) установками РГ, применяемых в системах электроснабжения.

Мультиагентный подход. В основе мультиагентного подхода лежит понятие мобильного программного агента, который реализован и функционирует как самостоятельная специализированная компьютерная программа или элемент искусственного интеллекта. Изначально, до появления соответствующих информационных технологий, в качестве агента выступал человек, которому делегировалась часть полномочий, как в выполнении конкретных функций, так и в принятии решений. На смену таким системам, копирующим централизованную иерархию, быстро пришли распределённые системы, в которых знания и ресурсы распределялись между достаточно самостоятельными агентами, но сохранялся общий орган командного управления, принимающий решения в критических или конфликтных ситуациях. Дальнейшим шагом в этом направлении стала парадигма полностью децентрализованных систем, в которых управление происходит только за счёт локальных взаимодействий между агентами.

Суть современных мультиагентных технологий заключается в принципиально новом методе решения задач. В отличие от классического способа, когда проводится поиск некоторого определённого алгоритма, позволяющего найти наилучшее решение проблемы, в мультиагентных системах решение получается автоматически в результате взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных модулей – агентов, в качестве которых может выступать как аппаратная, так и программная сущность.

К основным признакам программного агента можно отнести следующее [1, 3, 7]:

- автономность, заключающаяся в том, что агенты, хотя бы частично, являются независимыми;
- ограниченность представления: у каждого из агентов нет полной информации об объекте управления и внешней среде, т.к. объект является сложным и полное знание о нём не имеет практического значения для агента;
- децентрализация: отсутствуют агенты, осуществляющие управление всем объектом.

Мультиагентные технологии – это новый способ решения сложных задач автоматического управления, использующий принципы самоорганизации и эволюции, присущие живым организмам. Всё большее применение эти технологии находят в электроэнергетике.

Характеристика мультиагентной системы управления установками РГ. Система управления на основе мультиагентных технологий может со-

стоять из объектов управления с множеством входных и выходных параметров. В этом случае агенты будут получать информацию о параметрах объектов и их состоянии с помощью датчиков, обрабатывая которую, смогут воздействовать на регуляторы и исполнительные элементы системы, изменяя режимы работы объектов управления и всей системы в целом [5, 6]. Обобщенная структура МАСУ установками РГ в системе электроснабжения может быть представлена в виде схемы, показанной на рис. 1. Следует учитывать, что количество и функции агентов могут изменяться в зависимости от выбранного типа установок РГ (ветрогенератор, солнечная батарея или др.).

Рис.1. Обобщённая структурная схема МАСУ установками РГ

1. *Агент принятия решений* корректирует режим работы установок РГ за счет прямого взаимодействия с агентами задания режима работы и агентами диагностирования агрегатов установок РГ.
2. *Агент задания режима работы* принимает команды от агента принятия решений и воздействует на механизм управления установки РГ, а также принимает сообщения от агента диагностирования, если параметры агрегата выходят за пределы нормы.
3. *Агент диагностирования* производит непрерывную диагностику агрегата установки РГ и посылает соответствующие сообщения агенту принятия решений и агенту задания режима работы в случае выхода диагностируемых параметров за допустимые пределы.
4. *Агент моделирования* необходим для выполнения функций идентификации и моделирования с целью определения оптимальных параметров системы управления агрегатами установки РГ и их проверки на модели для изучения возможных сценариев развития режима работы объекта управления.
5. *Агент настройки управления* использует данные, полученные от агента моделирования, для оптимизации настройки системы автоматического управления объектом в конкретном режиме его работы.

Рассмотренная система может быть использована для оптимизации режима работы и управления выделенной части системы электроснабжения с широким применением установок РГ. В ЭЭС может быть несколько таких выделенных управляемых кластеров. Однако решение поставленных задач ИЭЭС ААС требует проведения тщательного исследования на модели ЭЭС с установками РГ и мультиагентной системой управления.

Заключение. Проведенный литературный обзор позволяет сделать вывод о перспективности применения мультиагентного подхода в качестве одного из методов решения поставленной задачи по модернизации ЕЭС России. Решение задачи управления многочисленными установками распределённой генерации, в том числе работающими на основе экологически чистых возобновляемых энергоресурсах, может быть достигнуто благодаря применению мультиагентной системы управления, построенной на основе предлагаемой обобщённой структуры с набором описанных функций агентов, входящих в её состав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / под ред. Фортова В.Е. и Макарова А.А. – М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2012. – 235 с.
2. Управление развитием крупномасштабных систем // С.Н. Васильев, А.А. Макаров, Н.И. Воропай и др. под ред. А.Д. Цвиркуна. – М.: Физматлит, 2012. – 496 с.
3. Morzhin Yu.I., Shakaryan Yu.G., Kuchеров Yu.N. et al. Smart Grid Concept for Unified National Electrical Network of Russia // CD. Preprints of proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe 2011, Manchester Dec. 5–7 2011. Manchester, GB: IEEE, The University of Manchester, 2011. Panel session 5D. pp. 1–5.
4. Miiller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // In Agent-Oriented Software Engineering book series. Springer. 2013. pp. 1-26.
5. Булатов Ю.Н., Крюков А.В. Мультиагентная система управления установками распределённой генерации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №11-12. – С. 97-107.
6. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Куцый А.П. Мультиагентный подход к управлению режимами систем электроснабжения железных дорог // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 4. – С. 108–126.
7. Бугайченко Д.Ю., Соловьев И.П. Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы ее реализации // Системное программирование. – 2005. – №1. – С. 36–67.

Научный руководитель: Ю.Н. Булатов, к.т.н., доцент, Братский государственный университет.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ОТ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В РОССИИ

А.И. Раскулова, Л.Ф. Зиялtdинова

Уфимский государственный авиационный технический университет

В настоящее время в нашей стране все больше возрастает интерес к интенсивно развивающемуся в последнее десятилетие во всем мире направлению научно-технологического инновационного преобразования электроэнергетики на базе новой концепции, получившей название Smart Grid или «умная сеть». Развитие данной концепции в России может рассматриваться как целый комплекс взаимосвязанных задач: научно-технологических, экономических (повышение экономической эффективности многих отраслей производства), социальных (создание новых рабочих мест).

Стратегическая цель создания интеллектуальной энергетической системы (ИЭС) на основе концепции Smart Grid состоит в повышении качества, надежности и безопасности энергетических систем, повышении эффективности и снижении расходов на передачу и потребление электроэнергии, обеспечении баланса между объемами выработки и потребления электроэнергии, уменьшении энергетического дефицита за счет использования возобновляемых источников энергии, а также в снижении степени влияния электроэнергетики на окружающую среду.

Технология Smart Grid — представляет собой систему, оптимизирующую энергозатраты, позволяющую перераспределять электроэнергию. "Интеллектуальные" сети – комплекс технических средств, позволяющий оперативно менять характеристики электрической сети. На технологическом уровне происходит объединение электрических сетей, потребителей и производителей электричества в единую автоматизированную систему, которая в реальном времени позволяет отслеживать и контролировать режимы работы всех участников процесса.

Главным преимуществом новой системы является двусторонняя связь с потребителем электроэнергии. Технология Smart Grid действует через систему "интеллектуальных" счетчиков, установленных на предприятиях, в квартирах и т. д. Они передают информацию о потреблении энергии, что позволяет скорректировать использование электроприборов во времени; распределить электричество в зависимости от потребности. В свою очередь все это позволит потребителю значительно снизить расходы на электроэнергию.

Технологические эффекты и целевые показатели, которые позволяет достичь создание Smart Grid, демонстрируют, в какой мере создание ИЭС ААС (интеллектуальной энергетической системы с активно-адаптивной сетью) соответствует социальному запросу общества и экономики к новым стандартам энергоснабжения. Наиболее значимые внешние эффекты:

1. Снижение экологической нагрузки (снижение использования органического топлива и выбросов загрязняющих веществ, парниковых га-

- зов; снижение уровня электромагнитного излучения при передаче и распределении электроэнергии; сокращение объемов отчуждаемой земли под ЛЭП).
2. Инновационный импульс для экономики (массовый спрос на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы, результатом которых станут действительно инновационные продукты энергомашиностроения и электротехнической промышленности; развитие информационных и коммуникационных технологий).
 3. Повышение энергетической безопасности (повышение надежности энергоснабжения; снижение вероятности нарушений энергоснабжения, частоты и продолжительности отключений; повышение уровня локальной энергообеспеченности, снижение экономических ущербов у различных категорий потребителей,).
 4. Улучшение условий для экономической интеграции и конкуренции (формирование более крупных, объединенных рынков в национальном и транснациональном масштабах; качественно новое, динамическое ценообразование для конечных потребителей, их активное включение в формирование кривой спроса на рынке, запуск полномасштабной конкуренции на уровне конечных потребителей).
 5. Повышение производительности и безопасности труда (сокращение численности обслуживающего персонала, создание более безопасной и комфортной среды для производственного персонала, как в электроэнергетике, так и для обслуживания устройств у конечных потребителей).

Создание ИЭС ААС будет сопровождаться рядом общесистемных эффектов, имеющих значительное влияние на балансовую ситуацию в ЕЭС России. Основные их типы связаны с переходом к новому качеству управления в энергосистеме:

- эффекты управления спросом обеспечивают изменение режимов электропотребления, снижение максимума и уплотнение графика нагрузки в энергосистеме, а в ряде случаев сопровождаются и общим снижением уровня электропотребления;
- эффекты управления потерями при передаче и распределении электроэнергии формируются за счет сокращения ненагрузочных потерь при внедрении новых типов проводов и силового оборудования и уменьшения нагрузочных потерь при переходе к интеллектуальному качеству управления режимами сети, а также вследствие изменения режимов электропотребления при реализации эффектов управления спросом;
- эффекты управления пропускными способностями линий в основной и распределительной сети обеспечивают увеличение допустимых потоков мощности за счет внедрения технологий гибких передач и новых систем автоматизированного мониторинга статической устойчивости сети;

- эффекты управления генерацией позволяют добиться рационального использования крупной и распределенной генерации. Одним из важных эффектов в этой сфере является интеграция в энергосистему больших объемов распределенной генерации и повышение управляемости потоками электроэнергии, производимой на электростанциях с нерегулярными режимами выработки энергии (ветровых, солнечных и др.);
- эффекты управления надежностью и качеством энергоснабжения обеспечивают снижение частоты и продолжительности аварийных ситуаций, служащих причиной прямого недоотпуска электроэнергии потребителям или ненадлежащего качества поставки. При этом, как следствие, снижаются прямые экономические потери потребителей из-за упущенной финансовой выгоды, порчи сырья, оборудования, расходных материалов и пр.

Оценки показывают, что реализация к 2030 г. основных мероприятий по созданию интеллектуальной энергетики в России позволит снизить потребность в установленной мощности более чем на 10% (на 34 ГВт) и электропотребление почти на 9% (140 млрд. кВт·ч). При этом относительный уровень потерь в сетях последовательно снизится на 30%.

Реализация положений данной концепции будет подразумевать развитие инновационных технологий, расширение масштабов производства высокоинтеллектуальной продукции, более интенсивное применение электрической энергии в транспортной инфраструктуре (использование автомобилей с электродвигателями), развитие новых рыночных отношений с привлечением в энергетику потребителей в качестве активных игроков рынка (возможность продавать электроэнергию, используя локальные генерирующие источники). Благодаря реализации концепции Smart Grid человечество вступит в новую фазу существования, которая будет характеризоваться гармоничным взаимодействием с окружающей средой, улучшением качества жизни и общим экономическим подъёмом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Концепция развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс] // ОАО «ФСК ЕЭС», 2012 – Режим доступа: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf
3. Волкова И.О., Огороков В.Р., Огороков Р.В., Кобец Б.Б. Концепция интеллектуальных энергосистем и возможности ее реализации в российской электроэнергетике – М.: ИНП РАН. – 2011.
4. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть — новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт, 2009, №4(15).

5. Глушко С, Пикин С. Технологическая концепция Smart Grid — облик электроэнергетики будущего // Энергорынок, 2009, №11(71), с. 68-72.

Научный руководитель: А.Р. Валеев, к.т.н., доцент кафедры Электромеханика, Уфимский государственный авиационный технический университет.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 4. Повышение эффективности работы тепловых и атомных электростанций

Golovina L.S. Increasing the efficiency of the nuclear power plants	3
Vergaskina M.A. The additive technologies: innovations in nuclear energy ...	5
Polovnikov D.I. Perceptron neural network. Potential way of use	8
Devyatkin M.I. Random perturbations in the properties of the reactor environment noise generator mathematical model	9
Konovalenkov K.I. Technological systems for the power-generating equipment eco-friendly shutdown	10
Nechupey I.A. Recovery resource characteristics in the RBMK-1000 graphite stacks	12
Gerdt S.E. Aerosols formation and alteration simulation in the primary heat carrier circuit of a npp's reactor during a hypothetical beyond design conditions accident involving fission products release.....	14
Лужковой Д.С., Ромашова О.Ю. Сравнение эффективности использования абсорбционных и компрессионных тепловых насосов в схемах подогрева сетевой воды на ТЭЦ.....	16
Баннова А.И., Галашов Н.Н., Цибульский С.А., Мельников Д.В., Киселев А.С. Перспективные направления развития ТЭС России на современном этапе	20
Мельников Д.В., Галашов Н.Н., Цибульский С.А., Баннова А.И., Киселев А.С. Состояние и перспективы развития ГПУ на современном этапе	25
Цицер Р.О. Новые технические решения при разработке проекта РУ БН-1200.....	29
Королев А.С. Устройство локализации расплава.....	33
Дашкевич Д.А. Импульсное предохранительное устройство компенсатора давления.....	37
Кузнецов М.В. Моделирование процесса течения теплоносителя в коллекторе продувки карманов парогенератора.....	41
Круглова Т.Н., Работалов Н.Н., Мельников М.А. Нейросетевой анализ формы разрядных явлений турбогенератора.....	46
Орёл Д.А., Варганова А.В. Решение оптимизационных задач в условиях электроэнергетических систем и сетей	48
Байрамгулова Ю.М., Гончарова И.Н., Варганова А.В. Оценка чувствительности алгоритма оптимизации режимов работы промышленных электростанций	52

Чубаров М.О., Коротких А.Г. Эксплуатация подогревателей высокого давления на Томской ТЭЦ – 3.....	55
Митряева К.В. Система контроля концентрации и аварийного удаления водорода в гермообъёме энергоблока с реактором типа ВВЭР	59
Нурболова И.Н. Описание и применение газовакуумного контура	62
Торехан Г.Е. Исследование микроструктуры и микротвердости полученных образцов силицированного графита в зависимости от состава.....	66
Сабитова Р.Р. Определение поправочного коэффициента самопоглощения в твэлах ВОВК-НОУ	69
Седельников Н.В. Программное обеспечения для расчета котельных агрегатов тепловых электростанций	73
Панфилов Н.С., Лавриненко С.В. Паровая турбина К-1200 для энергоблока с реактором БН-1200.....	77
Алексеев Н.Н. Борное регулирование	79
Янковский С.А., Малышев Д.Ю. Разработка технологии переработки низкосортного топлива для объектов энергетики.....	83

Секция 5. Электрический привод

Петрушкин А.А. Измерение скорости вращения коллекторного двигателя с помощью спектра тока потребления	87
Устименко А.Н., Ким Д.А. Методология согласования Arduino контролеров с исполнительными устройствами.....	90
Сидоров А.Д., Ким Д.А. Электропривод, использование ЧПУ и 3D принтера для создания эксклюзивных деталей.....	95
Копнов А.О. Привод элегазового высоковольтного выключателя.....	98
Галемов Р.Т. Адаптация ПИД-регулятора поисковым методом	102
Буда В.С., Рустемов Т.Р. Исследование вакуумных выключателей.....	106
Глазачев А.В., Дементьев Ю.Н., Негодин К.Н., Суздорф В.И. Машинно-вентильный источник напряжения для систем децентрализованного электроснабжения	109
Чичманов К.Н. Динамические режимы работы повышающего преобразователя напряжения на базе нетрадиционных источников энергии ..	113
Горшенина А.И. Модуль трехфазного ведомого инвертора для автоматизированных преобразовательных систем электрической энергии	118
Шлюев И.С., Каракулов А.С., Кладиев С.Н. Электрооборудование блочно-модульных котельных установок.....	121
Белоусов Р.А., Кладиев С.Н., Каракулов А.С. Интеллектуальная система освещения крупных торговых комплексов	125
Никитин И.В. Серводвигатели в системах электропривода	129

Рукавицын О.С. Функциональная диагностика повреждений обмотки ротора асинхронного двигателя.....	133
Королев В.Е., Кладиев С.Н., Гусев Н.В. Электромагнитные усилия в самотормозящихся электродвигателях	137
Морозов А.В. Моделирование асинхронного электродвигателя в тензорах.....	141
Лавринович А.В., Мытников А.В. Разработка технологии контроля состояния обмоток электродвигателей на основе импульсного метода	145
Секция 6. Электротехнические комплексы автономных объектов	
Садохина М.А., Чекан М.А. Автоматизация электромагнитных расчетов при проектировании турбогенераторов для тепловых и атомных электростанций.....	149
Пищулин А.Ю., Стрижак П.А. К вопросу о системе микроклимата автономного энергокомплекса.....	153
Ткачук Д.Ю. Тепловое моделирование турбогенератора с воздушным охлаждением	157
Гожин А.Г., Разживин И.А. Проектирование ветро-солнечной электростанции для электроснабжения села Новоникольское Александровского района Томской области	159
Брянцев А.А. Моделирование синхронно-гистерезисного гиродвигателя в программной среде Ansys Maxwell	163
Верозуб В.Ю. Система электроснабжения летательных аппаратов	166
Соболев А.М. Преобразователь частоты для работы в газовой промышленности	170
Альчин Ю.Ю. Имитационная модель системы электроснабжения тяжелого самолета.....	175
Христиев М.А. Исследование автономного источника питания забойной телеметрической системы	179
Минько С.М. Рекуперационно-тепловая воздушно-аккумулирующая электростанция	182
Кутбидинов И.Б. Особенности применения программы Ansys Maxwell для моделирования шагового двигателя.....	187
Якушина Е.А. Электродная отопительная система	189
Зданович А.В. Оценка надежности автономного энергокомплекса с использованием энергии ветра	193
Савельев А.И., Крестовников К.Д., Солёный С.В. Разработка беспроводного зарядного устройства для мобильной робототехнической платформы.....	197

Зиялtdинова Л.Ф., Федосов Е.М., Раскулова А.И. Микрокоронные разряды и их влияние на изоляцию электроустановок	201
---	-----

Секция 7. Перспективы развития интеллектуальных систем в электроснабжении

Малофеева П.А., Шаненкова Ю.Л., Шаненков И.И. Получение плазмодинамическим методом кубического карбида вольфрама WC_{1-x} и исследование его каталитических свойств	205
--	-----

Pogorelova S.O., Nikitin D.S., Shanenkov I.I. Plasmodynamic synthesis of nanodispersed Ti-B phases and obtaining Ti-B ceramics	209
---	-----

Nassyrbayev A.R., Nikitin D.S., Shanenkov I.I. Influence of chamber atmosphere pressure on the product of Si-C plasmodynamic synthesis	212
---	-----

Квашина Т.С., Чушенков В.И. Синтез карбида кремния комбинированным методом с использованием нановолокнистого углерода... ..	215
--	-----

Artemev A.E. Directory of electrical engineering equipment parameters based on CIM-objects	218
---	-----

Жульмина М.Д. Проектирование и расчёт современных систем электроснабжения	221
--	-----

Козырев А.М. МикроГЭС	225
------------------------------------	-----

Христенко П.В. Установка для утилизации природного электричества	230
---	-----

Половинкина Ю.Н., Шаненкова Ю.Л. Нанесение покрытий на основе меди в системе магнитоплазменного ускорителя	232
---	-----

Тощевинова М.С., Баннов А.Г. Применение углеродных материалов в качестве электродов для суперконденсаторов	236
---	-----

Циммерман А.И., Шаненкова Ю.Л., Гуков М.И. Разработка метода прямого плазмодинамического синтеза нанодисперсного оксида цинка для водородной энергетики.....	239
---	-----

Гуков М.И., Шаненков И.И., Циммерман А.И. Оценка абсорбционной способности порошка оксида железа, полученного плазмодинамическим способом	243
--	-----

Шаненков И.И., Хаскова Е.С. Исследование фотокаталитической активности порошков оксида железа, полученных плазмодинамическим методом.....	247
--	-----

Sazonov A.S., Shanenkova Y.L., Shanenkov I.I. Space-based solar power.....	251
---	-----

Асабин А.А., Кралин А.А., Крюков Е.В. Применение тиристорного регулятора напряжения в распределительных электрических сетях 6-10 кВ для повышения качества электроснабжения потребителей	254
---	-----

Якушина Е.А. Генератор на двух катушках Тесла	258
--	-----

Иванов Д.А., Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. Разработка платформы для создания "умного провода"	260
Горячев М.П., Иванов Д.А., Ярославский Д.А. Модульное устройство для технологии умного провода в задачах мониторинга воздушных линий электропередачи	264
Сагадуллина Р.М. Повышение энергоэффективности республики Марий Эл путем внедрения АСКУЭ.....	267
Солдусова Е.О., Проничев А.В. Автоматизация торговых операций в изолированном рынке электроэнергии на основе использования технологий распределённого реестра	271
Бойко Л.А., Исакова А.И., Крауиньш Д.П. Исследование и определение оптимального вида конструкции для использования ветроэнергетики в городе Томске.....	275
Шуманский Э.К., Булатов Ю.Н. Перспективы применения мультиагентного управления в системах электроснабжения с установками распределенной генерации	278
Раскулова А.И., Зиялtdинова Л.Ф. Технологические эффекты от создания интеллектуальных энергосистем на основе концепции Smart Grid в России	282